

**Volkswirtschaftliche Analyse einer flächenweiten Einführung von  
Precision Farming in Deutschland**

D i s s e r t a t i o n

**zur Erlangung des akademischen Grades**

**doctor rerum agriculturalarum**

**(Dr. rer. agr.)**

**eingereicht an der**

**Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät**

**der Humboldt-Universität zu Berlin**

von

Dipl.-Ing. agr. Isabella Helene Karpinski

Präsident

der Humboldt-Universität

Prof. Dr. Jan-Hendrik Olbertz

Dekan der

Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät

Prof. Dr. Dr.h.c. Frank Ellmer

Gutachter

1. Prof. Dr. Klaus Müller
2. Prof. Dr. Ulrich Hampicke
3. Prof. Dr. Michael Harth

Tag der mündlichen Prüfung: 3. Juni 2014



## INHALTSVERZEICHNIS

1.	EINLEITUNG.....	1
1.1.	Precision Farming .....	2
1.2.	Problemstellung und Ziel.....	6
1.3.	Aufbau der Arbeit .....	8
2.	DIE NUTZEN-KOSTEN-ANALYSE UND IHRE THEORETISCHEN GRUNDLAGEN, HISTORISCHE ENTWICKLUNG, AUFBAU UND BEDEUTUNG.....	11
2.1	Theoretische Grundlagen einer Nutzen-Kosten-Analyse .....	11
2.1.1.	Definition der Nutzen-Kosten-Analyse.....	11
2.1.2.	Ziel und Zweck der Nutzen-Kosten-Analyse .....	13
2.1.3.	Arten von Nutzen-Kosten-Untersuchungen .....	15
2.1.4.	Herkunft der Methode der Nutzen-Kosten-Analyse und Bestimmung des Wohlfahrtsmaßes .....	17
2.1.4.1.	Bestimmung des Wohlfahrtsmaßes .....	20
2.2	Entwicklung und Stand der Anwendung der Nutzen-Kosten-Analyse in der ökonomischen Umweltbewertung .....	22
2.2.1	USA .....	22
2.2.2	Deutschland .....	23
2.3	Aufbau und Durchführung einer Nutzen-Kosten-Analyse: Das 11-Stufen- Verfahrensmuster.....	32
2.3.1	Beschreibung der Aufgabe – Stufe 1 .....	33
2.3.2	Die Konkretisierung eines Zielsystems – Stufe 2.....	34
2.3.3	Nebenbedingungen der Nutzen-Kosten-Analyse – Stufe 3 .....	35
2.3.4	Festlegung der relevanten Alternativen und der Mit-Ohne-Vergleich – Stufe 4.....	36
2.3.5	Identifizierung von Projektwirkungen – Stufe 5 .....	36

2.3.5.1	Reale und pekuniäre Wirkungen.....	37
2.3.5.2	Direkte und indirekte Wirkungen .....	38
2.3.5.3	Tangible und intangible Wirkungen .....	38
2.3.6	Bewertung der Projektwirkungen – Stufe 6 .....	39
2.3.6.1	Marktpreise vs. Schattenpreise .....	39
2.3.6.2	Indirekte Wirkungen und ihre Bewertungsmethoden .....	41
2.3.6.3	Zahlungsbereitschaftsanalyse .....	43
2.3.6.4	Attribute Based Choice Modelling .....	45
2.3.6.5	Aufwandmethode.....	46
2.3.6.6	Substitutive Privatleistungen: Vermeidungskostenansatz .....	46
2.3.6.7	Komplementäre Privatleistungen: Reisekostenmethode .....	46
2.3.6.8	Marktpreise für schadenskompensierende Güter: Kompensationskosten .....	47
2.3.6.9	Marktpreismethode .....	48
2.3.6.10	Brisanz der monetären Bewertung von Umweltgütern.....	49
2.3.7	Sensitivitätsanalyse – Stufe 7 .....	51
2.3.8	Diskontierung – Stufe 8 .....	52
2.3.9	Gegenüberstellung der Nutzen und Kosten – Stufe 9 .....	53
2.3.9.1	Entscheidungskriterien.....	53
2.3.9.2	Entscheidungsregeln .....	54
2.3.10	Beschreibung der Intangibles – Stufe 10 .....	55
2.3.11	Gesamtbeurteilung und Entscheidung – Stufe 11.....	55
2.4	Grenzen einer Nutzen-Kosten-Analyse: eine Zusammenfassung.....	56
2.5	Schlussfolgerungen: Behandlung der methodischen Grenzen in der volkswirtschaftlichen Analyse des Precision Farming .....	59

3.	NUTZEN-KOSTEN-ANALYSE EINES SCHLAGSPEZIFISCHEN EINSATZES VON PRECISION FARMING IN DER LANDWIRTSCHAFT IN DEUTSCHLAND AM BEISPIEL DER „WULFEN-STUDIE“ .....	63
3.1	Methoden und Datengrundlage.....	63
3.2	Verfahren und Ansätze des Precision Farming.....	70
3.3	Das Forschungsprojekt pre agro II.....	78
3.4	Die Nutzen-Kosten-Analyse eines schlagspezifischen Einsatzes von Precision Farming am Beispiel der Wulfen-Studie .....	80
3.4.1	Identifizierung der Projektwirkungen.....	81
3.4.2	Quantifizierung der Projektwirkungen .....	93
3.4.2.1	Direkte Bewertung.....	93
3.4.2.2	Indirekte Bewertung .....	98
3.4.3	Sensitivität .....	113
3.4.4	Diskontierung .....	119
3.4.5	Gegenüberstellung der Nutzen und Kosten des Precision Farming .....	119
3.4.6	Intangibles .....	122
3.4.7	Gesamtbeurteilung und Schlussfolgerungen .....	126
4.	HOCHRECHNUNG DER NUTZEN-KOSTEN-ANALYSE DES PRECISION FARMING .....	128
4.1	Methoden und Datengrundlage.....	128
4.2	Heterogenitätsmaße in der Literatur .....	130
4.3	Der Heterogenitätsindikator HEI .....	137
4.3.1	Quantifizierung des Heterogenitätsindikators HEI.....	139
4.3.2	Ökonomische Verknüpfung des HEI.....	142
4.4	Identifizierung von Precision-Farming-Potenzialflächen .....	144
4.5	Hochrechnung der Nutzen-Kosten-Analyse .....	148

4.6	Stärken und Schwächen des Heterogenitätsindikators HEI und Schlussfolgerungen zur Hochrechnung .....	151
5.	AGRARPOLITISCHE EMPFEHLUNG .....	156
5.1	Agrarpolitische Rahmenbedingungen.....	156
5.2	Agrarpolitische Empfehlung bzgl. einer Förderung des Precision Farming.... .....	163
5.3	Schlussfolgerungen .....	168
6.	DISKUSSION: WO STEHT PF HEUTE UND WOHIN „GEHT DIE REISE“? .....	171
7.	ZUSAMMENFASSUNG.....	181
8.	LITERATUR .....	183
9.	ANHANG .....	194
	DANKSAGUNG .....	229
	EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG.....	230

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1. Vorgehensweise und Untersuchungsansatz der volkswirtschaftlichen Analyse des Precision Farming .....	10
Abbildung 2. Bewertungs(Nutzen)komponenten der Nutzen-Kosten-Analyse im BVWP 2003.....	27
Abbildung 3. Projektbewertung im BVWP 03 bzgl. der Umweltwirkungen (schematisch).....	29
Abbildung 4. Untersuchungsschläge des WIMEX-Praxisbetriebes in Wulfen, Sachsen-Anhalt.....	65
Abbildung 5. Methodisches Schema der NKA des PF der Fallstudie „Wulfen“ ....	69
Abbildung 6. Satellitengestützter Technikeinsatz bei Precision Farming .....	71
Abbildung 7. System für PF-Technik.....	72
Abbildung 8. Ansätze der Technologie des Precision Farming .....	77
Abbildung 9. Struktur des pre-agro-II-Projektes .....	79
Abbildung 10. Interpolierte Ertragskarte im 25 m x 25 m-Raster, Schlag 432 (93,1 ha).....	141
Abbildung 11. Der Nettonutzen in Abhängigkeit vom HEI .....	144
Abbildung 12. Ertragsschätzung Winterweizen, Ostdeutschland, Stand 1990, nach KINDLER (1992) und MIRSCHEL et al. (2006) .....	145
Abbildung 13. HEI in Ostdeutschland auf Gemeindeebene, 2007 .....	146
Abbildung 14. Precision Farming Potenzialflächen, $HEI \geq 5 \%$ bis $\geq 25 \%$ , OstD 2007 .....	148

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1. Arbeitsschritte der Nutzen-Kosten-Analyse .....	33
Tabelle 2. Gebräuchlichste Bewertungsansätze monetär nicht direkt messbarer Projektwirkungen .....	43
Tabelle 3. Entscheidungskriterien und ihre Entscheidungsregeln .....	55
Tabelle 4. Identifizierung der potenziellen direkten Wirkungen des Precision Farming .....	83
Tabelle 5. Identifizierung der potenziellen indirekten Wirkungen des Precision Farming .....	86
Tabelle 6. Identifizierung der potenziellen Intangibles des Precision Farming .....	87
Tabelle 7. Ergebnisse der differenzierten N-Düngung zu Winterweizen, Wulfen ..	95
Tabelle 8. Bewertung der direkten Wirkungen des Precision Farming .....	97
Tabelle 9. Ergebnisse Expertise Naturschutzbewertung, Wulfen, 2005–2007 .....	101
Tabelle 10. Vergleich der Zahlungsbereitschaft Berlin/Rügen, Studie KARKOW (2003, S. 67) .....	107
Tabelle 11. Quantifizierung der indirekten Wirkungen des Precision Farming, Wulfen-Studie .....	110
Tabelle 12. Ergebnisse der indirekten Bewertung der Wulfen-Studie .....	112
Tabelle 13. Veränderung der Inputfaktoren zur Sensitivitätsanalyse der NKA des PF .....	114
Tabelle 14. Sensitivitätsanalyse der Nutzen und Kosten des Precision Farming – Sensitivität 1–3 <sup>1</sup> .....	118
Tabelle 15. Gegenüberstellung der Nutzen und Kosten des Precision Farming .....	121
Tabelle 16. Intangibles .....	124
Tabelle 17. Ergebnisse der Berechnung zum schlaginternen Heterogenitätsindikator HEI .....	142
Tabelle 18. Hochrechnung/Abschätzung des volkswirtschaftlichen Nettonutzens des PF .....	150



Tabelle 19. Katalog und Definition der Naturschutzqualitätsziele (NQZ) speziell auf Ackerflächen, nach PLACHTER und JANßEN 2004, S. 175 ff. ....	194
Tabelle 20. Zuordnung Naturschutzqualitätsziele zu Gruppen.....	197
Tabelle 21. Expertise der Umweltwirkungen von Precision Farming, Fallstudie Wulfen 2005–2007.....	198
Tabelle 22. Quantifizierung der indirekten Wirkungen, Wulfen-Studie 2005/06....	202
Tabelle 23. Quantifizierung der indirekten Wirkungen, Wulfen-Studie 2007.....	208
Tabelle 24. Berechnung Sensitivität 1–3 bzgl. Produktpreis Weizen für Nutzen direkt .....	212
Tabelle 25. Berechnung Sensitivität 1 <sup>1</sup> bzgl. Zahlungsbereitschaft für indirekten Nutzen .....	213
Tabelle 26. Berechnung Sensitivität 2 <sup>1</sup> bzgl. Zahlungsbereitschaft für indirekten Nutzen .....	214
Tabelle 27. Berechnung Sensitivität 3 <sup>1</sup> bzgl. Zahlungsbereitschaft für indirekten Nutzen .....	215
Tabelle 28. Berechnung Nettonutzen/Verhältniskriterium des Precision Farming – Sensitivität 1 <sup>1</sup> bzgl. Veränderung Produktpreis (Pp).....	216
Tabelle 29. Berechnung Nettonutzen/Verhältniskriterium des Precision Farming – Sensitivität 2 <sup>1</sup> bzgl. Veränderung Produktpreis (Pp) .....	217
Tabelle 30. Berechnung Nettonutzen/Verhältniskriterium des Precision Farming – Sensitivität 3 <sup>1</sup> bzgl. Veränderung Produktpreis (Pp) .....	218
Tabelle 31. Berechnung Nettonutzen/Verhältniskriterium des Precision Farming – Sensitivität 1 <sup>1</sup> bzgl. Veränderung Technikkosten (Tk).....	219
Tabelle 32. Berechnung Nettonutzen/Verhältniskriterium des Precision Farming – Sensitivität 2 <sup>1</sup> bzgl. Veränderung Technikkosten (Tk) .....	219
Tabelle 33. Berechnung Nettonutzen/Verhältniskriterium des Precision Farming – Sensitivität 3 <sup>1</sup> bzgl. Veränderung Technikkosten (Tk) .....	220
Tabelle 34. Berechnung Nettonutzen/Verhältniskriterium des Precision Farming – Sensitivität 1 <sup>1</sup> bzgl. Veränderung Zahlungsbereitschaft (ZB) .....	221

Tabelle 35. Berechnung Nettonutzen/Verhältniskriterium des Precision Farming – Sensitivität 2 <sup>1</sup> bzgl. Veränderung Zahlungsbereitschaft (ZB) .....	222
Tabelle 36. Berechnung Nettonutzen/Verhältniskriterium des Precision Farming – Sensitivität 3 <sup>1</sup> bzgl. Veränderung Zahlungsbereitschaft (ZB) .....	223
Tabelle 37. Hochrechnung/Abschätzung des volkswirtschaftlichen Nettonutzens der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming, PF-Flächen .....	224
Tabelle 38. Hochrechnung der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming, volkswirtschaftlicher Nettonutzen für Ostdeutschland nach HEI und CORINE <sup>1</sup> .....	225
Tabelle 39. Hochrechnung der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming, volkswirtschaftlicher Nettonutzen Gesamtdeutschland <sup>1</sup> .....	227

## VERZEICHNIS DER BOXEN

Box 1. Fragestellungen der Arbeit .....	8
Box 2. Arbeitsdefinitionen.....	13
Box 3. Die Kosten-Wirksamkeitsanalyse .....	15
Box 4. Die Nutzwertanalyse .....	15
Box 5. Definition Nutzen und Kosten.....	34
Box 6. Definition Options-, Existenz- und Vermächtniswert.....	35
Box 7. Naturschutzqualitätsziele potenzieller Umweltwirkungen des Precision Farming .....	91

**ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS**

AF	Ackerfläche
Akh	Arbeitskraftstunden
AUM	Prämienzahlungen in Agrarumweltmaßnahmen
ÄV	Äquivalenzvariation
BHO	Bundeshaushaltsordnung
BT	Benefit Transfer
BÜK	Bodenübersichtskarte
BVWP	Bundesverkehrswegeplan
c.p	ceteris paribus (unter sonst konstanten Bedingungen)
CO	Commodity Output
CVM	Contingent Valuation Method
DGPS	Differential Global Positioning System
ECU	Engine Control Unit
FFH-VE	FFH-Verträglichkeitseinschätzung
GAP	Gemeinsame Agrarpolitik
GPS	Global Positioning System
HEI	Heterogenitätsindikator
HGrG	Haushaltsgrundsätzegesetz
Hh	Haushalt
ISOBUS	Applikation eines Datenbusses für eine landtechnische Anwendung, die konform zu der Norm ISO 11783 ist
LF	Landwirtschaftlich genutzte Fläche
LN	Landwirtschaftliche Nutzfläche
MMK	Mittelmaßstäbige Standortkartierung der DDR
N	Stickstoff
NCO	Non Commodity Output
NGW	Nettogegenwartswert
NKA	Nutzen-Kosten-Analyse
NKL	stickstoffkostenfreie Leistung
NN	Nettonutzen
NQZ	Naturschutzqualitätsziel
PB	Projektbereich

PF	Precision Farming
PSM	Pflanzenschutzmittel
SAMT	Spatial Analysis and Modelling Tool
SEG	Schadstoff-Einwohner-Gleichwerte
URE VK	Umweltrisikoeinschätzung
VK	Verhältniskriterium (Kapitel 2)
VK	Variationskoeffizient (Kapitel 4)
WASMOD	Water And Substance Simulation Model
WTP	Willingness To Pay
WW	Winterweizen
ZB	Zahlungsbereitschaft
ZEG	Zielerreichungsgrad

## 1. Einleitung

Wenn der moderne Bauer morgens auf den Acker fährt, dann spannt er seine 500 Pferdestärken, ausgestattet mit Sensoren, Computer und Satellitensteuerung vor die Spritze, um die vorgesehenen Bewirtschaftungsmaßnahmen standort- und bedarfsgerecht auszubringen. Noch arbeiten allerdings viele landwirtschaftliche Betriebe wie in alten Zeiten: Mehr oder weniger große Maschinen bearbeiten jeden Meter Feld, bspw. beim Pflügen, bei Saat, Düngung oder Pflanzenschutz, gleich. Die Landbewirtschaftung wird nur selten an die Standorteigenschaften innerhalb eines Feldes angepasst. Diese schlaginternen Standorteigenschaften können aber vor allem bei größeren Schlägen enorm schwanken.

Die Landwirtschaft hat sich in den vergangenen 50 Jahren kolossal gewandelt. Zugtiere und Handarbeit gehören der Vergangenheit an. Die Technik bestimmt heute das tägliche Leben. Aus einfachen kleinen Traktoren sind große universelle Systemfahrzeuge geworden, welche den gleichzeitigen Anbau mehrerer Maschinen und Geräte ermöglichen.

Moderne Landwirtschaft sieht heute sogar so aus: Auf ökonomischer und ökologischer Ebene finden zunehmend Elektronik, EDV, Satellitenortung, Spezialsoftware sowie hochkomplexes Management und großes, professionelles Unternehmertum Einzug (WERNER 2008, S.1). Hierfür bildet das „*Precision Farming – präziser Ackerbau*“ die technischen Voraussetzungen. So eröffnen sich auf diesem Wege völlig neue Möglichkeiten der Landbewirtschaftung. Mit GPS (Global Positioning System), einem weltweit verfügbaren kostenfreien Ortungs- und Navigationssystem und der Standardisierung der mobilen elektronischen Kommunikation (ISOBUS-System)<sup>1</sup> sind heute die Voraussetzung für eine landwirtschaftliche Technologie der Zukunft geschaffen (AUERNHAMMER 2001, S. 42, 44).

---

<sup>1</sup> BUS-System: (Binary Unit System) Leitungssystem mit zugehörigen Steuerungskomponenten, das zum Austausch von Daten zwischen Hardware-Komponenten dient. Bussysteme verbinden Computer mit Anbaugeräten und dienen z. B. der Ansteuerung von Maschinen. ISOBUS ist ein internationaler Standard (ISO 11783) (HÜTER et al. 2005, S. 48).

### 1.1. Precision Farming

Precision Farming (PF) ist die zielgerichtete und ortsdifferenzierte, vorrangig informationsgeleitete Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Nutzflächen unter Berücksichtigung kleinräumiger natürlicher Wachstumsbedingungen und aktueller Zustände (GRAEFF und CLAUPEIN 2004, S. 4 ).

Hierfür werden verschiedenste Kombinationen aus GIS<sup>2</sup>-fähigen Bordcomputern, Sensoren für Boden- und Bestandeszustände in den Schleppern bzw. Geräten zur Datenerfassung sowie der Erntetechnik eingesetzt und durch satellitengestützte Ortungssysteme (DGPS)<sup>3</sup> unterstützt (PLACHTER et al. 2004)<sup>4</sup>.

Alternative Bezeichnungen zu Precision Farming sind im deutschen und internationalen Umfeld auch Precision Agriculture, Computer-Aided Farming und teilflächen-spezifische Bewirtschaftung. Dabei wird im amerikanischen Sprachraum eher von Precision Agriculture und im europäischen eher von Precision Farming gesprochen (BALDENHOFER 2009). In der vorliegenden Arbeit soll der Begriff des Precision Farming für Maßnahmen im Pflanzenbau verstanden werden, wobei Precision Agriculture als übergeordnete Einheit gesehen wird, die neben Pflanzenbau auch die Bereiche Precision Livestock Farming (Tierhaltung), Precision Viticulture (Weinbau) usw. (z. B. Gartenbau, Forst) umfasst.

Ziel des „Präzisionsackerbaus“ ist es dabei, die Landbewirtschaftungsmaßnahmen an die Variabilität der Standort- und Bestandesparameter (Heterogenität) anzupassen, unter Berücksichtigung von ökonomischen Zielen, nämlich der Einsparung von Betriebsmitteln, der Erhöhung der Ertragssicherheit und -qualität und der ökologischen Zielsetzung einer nachhaltigen, integrativen und umweltschonenden Landwirtschaft. Kleinräumige Unterschiede sind auf fast jeder Ackerfläche vorhanden. Sie zu erkennen und darauf zu reagieren, ist seit jeher eine Herausforderung für den Ackerbau (HÜTER et al. 2005, S. 6–7).

---

<sup>2</sup> GIS: (Geographisches Informationssystem) Computerprogramm zum Festlegen und Kartieren von Punkten, Strecken und Flächen. In der Landwirtschaft vorwiegend zur graphischen Flächenverwaltung, bei dem verschiedene Karten übereinander gelegt werden können (HÜTER et al. 2005, S. 48).

<sup>3</sup> DGPS: (Differentielles Global Positioning System) Genaue Ortung und präzise Zeitangabe mittels Satelliten und Korrektursignalen, die den GPS-Systemfehler ausgleichen (HÜTER et al. 2005, S. 48)

<sup>4</sup> Ein Überblick über die genauere Funktionsweise und Verfahren der PF-Technologie findet sich in Kapitel 3.2

Bei Schlägen (Feldern) mit geringer Größe sind die Unterschiede in der Regel weniger ausgeprägt und überschaubar (HÜTER et al. 2005, S. 6). Dies trifft größtenteils für den Westen Deutschlands zu. Hier finden sich durchschnittliche Schlaggrößen von bspw. 4 ha in Schleswig-Holstein. Da aber innerhalb der alten Bundesländer zusätzlich noch ein starkes Nord-Süd-Gefälle vorliegt, werden in den alten Realteilungsgebieten Süddeutschlands sogar durchschnittliche Schlageinheiten von nur 1,5 ha bewirtschaftet (SCHÄUBLE 2007, S. 40). In Hessen haben 75 % der Gemeinden eine durchschnittliche Schlaggröße von weniger als 1 ha (SCHÄUBLE 2007, S. 43). Deutlich größere und weniger leicht überschaubare Schlageinheiten mit wechselnden Standorteigenschaften (Heterogenität) werden heute in Ost-Deutschland bewirtschaftet. Die Relation der durchschnittlichen Schlaggrößen Ost:West ist derzeit etwa 20 : 1. Diese größeren Schlageinheiten Ost-Deutschlands stellen das Haupteinsatzgebiet der Precision-Farming-Technologie dar. Mit der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung kann das Leistungsvermögen von Teilflächen größerer Schläge mit besseren Qualitäten ausgeschöpft werden (HÜTER et al. 2005, S. 7), hauptsächlich durch Anpassung der Bewirtschaftungsmaßnahmen an den Standort, auf identifizierbare Flächeneinheiten (management units) (LUDOWICY et al. 2002, S. 9) und nicht an die Schlaggrenzen. Diese Technologie verspricht z. B. standortspezifische Saat-, Dünger- und Pflanzenschutzmittelmengen auszubringen (PLACHTER et al. 2004). So kann bspw. vermieden werden, dass Bereiche des Schlages mit geringerer Ertragsfähigkeit mit Stickstoffdüngern überversorgt werden (HÜTER et al. 2005, S. 7). Das bedeutet, dass Precision Farming ökonomische und ökologische Verbesserungen in der Landwirtschaft hervorrufen kann, wie bspw. die Einsparung von Betriebsmitteln, Verbesserung der Ertragsleistung durch höhere Erträge und verbesserte Produktqualität und die Minimierung von Umweltbelastungen (LUDOWICY et al. 2002, S. 9).

Eine Wirtschaftlichkeit von PF-Anwendungen ist dann gegeben, wenn der Mehrerlös aufgrund von Betriebsmitteleinsparungen und höheren Erträgen, die durch Anschaffung und Verwendung der PF-Technik anfallenden Ausgaben übersteigt. Während die Kosten für die Datenerfassung und für die Applikations- und Navigationstechnik bekannt sind und relativ genau beziffert werden können, lässt sich der Nutzen von PF-Verfahren nur grob abschätzen, da er von verschiedenen, teilweise nicht beeinflussbaren Faktoren (bspw. Witterung) abhängig ist und die zu erwartenden Effekte je nach Bewirtschaftungsschritt, schlaginterner Standortheterogenität, angebauter



Kulturpflanze und Produktionsintensität unterschiedlich ausfallen (AUSSCHUSS FÜR BFTA 2006, S. 6).

Durch eine teilflächenspezifische Stickstoffdüngung kann der Mineraldüngeraufwand/ha deutlich reduziert werden, bspw. konnten auf Praxisflächen im pre-agro-I-Projekt<sup>5</sup>, einem Forschungsprojekt zu Precision Farming, durchschnittlich 10–15 kgN/ha eingespart werden, bei größtenteils gleichen Erträgen; auf Einzelschlägen waren auch Ertragssteigerungen zu verzeichnen (WENKEL et al. 2004, S. 175). Im Bereich der Kalkung und Grunddüngung sind ebenfalls Einsparungen möglich. Auch im Pflanzenschutz führt der Einsatz von Precision-Farming-Technologien zu positiven Ergebnissen: Bei der Ausbringung von Herbiziden konnte auf Praxisflächen des pre-agro-I-Projektes die Herbizidaufwandmenge im Winterweizen um 12,7 % (Wirkstoff + Wasser) eingespart werden, bei einem durchschnittlichen Mehrertrag von 3 % (EHLERT et al. 2004, S. 288 f.). Ähnliches dürfte für die Ausbringung von Wachstumsreglern gelten. Hinweise auf deutliche Einsparungen im Kraftstoffbedarf gibt es bei der teilflächenspezifischen Bodenbearbeitung (SOMMER und VOBHENRICH 2004, S. 123).

Aber nicht nur die Betriebsmitteleinsparung spricht für die Precision-Farming-Technologie. Precision Farming kann auch der entscheidende Schritt zum besseren Management in landwirtschaftlichen Unternehmen sein. Betriebe, die mit der riesigen Datenflut, die beim Umgang und der Auswertung mit PF-Daten anfallen, umgehen können und in der Lage sind, die richtigen Entscheidungen aus den Informationen zu ziehen, verbessern das Management, die Transparenz und Qualität der Produktion (bspw. höherer Proteingehalt im Brot- oder Futtergetreide) und legen die Basis für eine Vereinfachung der Dokumentationserfordernisse (WAGNER 2006a, S. 31).

Da die Wirtschaftlichkeit eines Einsatzes von Precision Farming im Landbau stark von den jeweiligen Produktionsbedingungen abhängt, ist sie nicht ohne Weiteres verallgemeinerbar (DABBERT et al. 2004, S. 56). Grundsätzlich gilt jedoch, dass PF-Anwendungen umso eher die Wirtschaftlichkeitsschwelle erreichen, je größer die

---

<sup>5</sup> Pre-agro-I-Projekt: Deutschlandweites Forschungsverbundprojekt: Managementsystem für ortsspezifischen Pflanzenbau zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit der Landwirtschaft und zur Förderung ihrer Umweltleistungen. Laufzeit 1999–2003. Vorläufer-Projekt von pre agro II. Siehe auch [www.preagro.de](http://www.preagro.de)

bewirtschafteten Flächen und je heterogener die Standortbedingungen sind. Gegenwärtig ist die teilflächenspezifische Applikation von Stickstoff oder Herbiziden im Winterweizen bspw. erst dann wirtschaftlich, wenn Einsatzflächen von mehreren hundert ha/Jahr erreicht werden (WAGNER 2006a, S. 31 f.).

Ökologisch positive Effekte können durch verschiedene PF-Anwendungen erzielt werden. So weist bspw. die teilflächenspezifische Optimierung der Stickstoff-Düngung unter verschärften Umweltauflagen neben ökonomischen auch ökologische Vorteile auf (DABBERT et al. 2004, S. 56 f.)<sup>6</sup> Auch durch die teilflächenspezifische Bodenbearbeitung und Aussaat können durch die damit verbundene Verringerung des Treibstoff- und Saatgutverbrauchs positive Umweltwirkungen erzeugt werden. Die größten Reduktionen von Betriebsmitteln ergeben sich durch teilflächenspezifisch differenzierte Applikation von Pflanzenschutzmitteln. Die ausgebrachten Mengen können im Durchschnitt um die Hälfte reduziert werden (PLACHTER und JANßEN 2004, S. 174 ff.). So könnte der Einsatz von Precision Farming auch zur Verbesserung der Wirksamkeit des Resistenzmanagements beitragen, da hierdurch eine innerhalb der Schläge räumlich differenzierte Mittelanwendung möglich wäre. Grundsätzlich besitzt Precision Farming eine Vielzahl unterschiedlicher Umweltentlastungspotenziale, die bei PLACHTER und JANßEN (2004) in 15 potenziellen Naturschutzqualitätszielen zusammengefasst werden.<sup>7</sup>

So könnten PF-Anwendungen auch zur Erbringung von Leistungen für den Arten- und Biotopschutz in der Agrarlandschaft eingesetzt werden, beispielsweise durch das gezielte Aussparen sensibler Bereiche bei der Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln (sog. „Defektflächen“ (JÖRNS et al. 2008, S. 510), zum Schutz kleinräumiger Biotope in der Agrarlandschaft, zur Berücksichtigung spezieller Habitatsprüche (bspw. Ansiedlung Feldlerche) (BERGER und JÖRNS 2006) und zur Einhaltung von Nutzungsauflagen.

---

<sup>6</sup> Die relative Vorzüglichkeit von Precision Farming im Vergleich zu einer konventionellen Bewirtschaftung steigt insbesondere bei einer Bewirtschaftung unter Umweltauflagen deutlich an. Es konnte an mehreren Beispielen gezeigt werden (auf Versuchsflächen im pre-agro-I-Projekt), dass bei einer stufenweisen Reduzierung der erlaubten Aufwandmengen die Differenz der Deckungsbeitrages zwischen der konstanten und der teilflächenspezifischen Variante kontinuierlich zu Gunsten der teilflächenspezifischen Variante zunimmt.

<sup>7</sup> Näheres dazu findet sich in Kapitel 3.4.1.

Precision Farming wurde 2008 von etwa 8 % der Betriebe in Deutschland (WERNER 2008, S. 3), insbesondere von jungen, gut ausgebildeten Landwirten mit überdurchschnittlich großer Flächenausstattung sowie betriebsübergreifenden Bewirtschaftungsformen eingesetzt. Die durchschnittliche Betriebsgröße lt. dem Bericht des Ausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung (2006, S. 6) von PF-Nutzern liegt zwischen 1.080 ha (2001) und 904 ha (2005). Wesentliche Gründe für den Einsatz sind der zu erwartende Erkenntnisgewinn über die eigenen Produktionsstandorte und die dadurch größere Entscheidungssicherheit sowie ökonomische Motive, nämlich die Kosten senken und finanzielle Vorteile erwirtschaften zu wollen (REICHART und JÜRGENS 2008, S. 586).

Die Entwicklung der Applikationstechnik für teilflächenspezifische Bewirtschaftungsmaßnahmen ist mittlerweile weit vorangeschritten. Für viele der obengenannten Anwendungsbereiche sind entsprechende Geräte bzw. Landmaschinen verfügbar. Bordcomputer und Jobrechner werden serienmäßig angeboten und mit dem landwirtschaftlichen ISOBUS-System ist ein international normierter und herstellerübergreifender Datenaustausch zwischen den verschiedenen elektronischen Komponenten sichergestellt (AUSSCHUSS FÜR BFTA 2006, S. 26). So äußert sich bspw. TÄGERFARNY (in WERNER 2007, S. 2), Projektpartner des pre-agro-II-Projektes<sup>8</sup> und Landwirt auf einem Anwenderbetrieb in Niedersachsen über die Vorteile des Precision Farming in der Praxis: „Wir verdienen mehr, fühlen uns besser informiert, produzieren weniger CO<sub>2</sub>, aber reduzieren auch das Risiko, dass Pflanzenschutzmittel und Dünger überdimensioniert werden. Diese Techniken sind somit ein Glücksfall für uns alle.“

## 1.2. Problemstellung und Ziel

Die Einordnung von Precision Farming in den Kontext nachhaltiger Entwicklung in der Landwirtschaft zeigt, dass Precision Farming zur Erreichung verschiedener ökologischer Nachhaltigkeitsziele gewisse Beiträge leisten kann. So ist es grundsätzlich möglich, wie bereits oben näher erläutert, den Faktoreinsatz in der Landwirtschaft erheblich zu reduzieren und dadurch den Naturschutz in der Agrarlandschaft zu ver-

---

<sup>8</sup> Pre agro II: „Informationsgeleitete Pflanzenproduktion mit Precision Farming als zentrale inhaltliche und technische Voraussetzung für eine nachhaltige Entwicklung der landwirtschaftlichen Landnutzung“. Forschungsverbundprojekt innerhalb Deutschlands (2005–2007), in dessen Rahmen auch das Teilprojekt bearbeitet wurde (TP5), aus dem die vorliegende Arbeit hervorgeht.

bessern. Die verschiedenen Umweltentlastungspotenziale des Precision Farming kommen aber in der Praxis der Landbewirtschaftung nur begrenzt zum Tragen, da der Verbreitungsgrad des PF bisher sehr gering ist<sup>9</sup>. Wenn sich an den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen nichts ändert oder keine speziellen Anreize für die Anwendung von Precision Farming in der Praxis geschaffen werden, muss auch zukünftig nur von einer eher geringen Verbreitung von Precision Farming-Anwendungen ausgegangen werden (AUSSCHUSS FÜR BFTA 2006, S. 7).

Die Liberalisierung der Agrarmärkte und die vollständig von der Produktion entkoppelten Direktbeihilfen führen tendenziell zu sinkenden Preisen für Agrarprodukte und teilweise zu geringeren Betriebseinkommen bei gleichzeitig steigenden Preisen für Betriebsmittel. In diesem zunehmend schwierigen wirtschaftlichen Umfeld sind die Landwirte zwar an neuen Techniken und Verfahren interessiert, sehen aber trotzdem davon ab, in Precision Farming zu investieren, da diese einen zusätzlichen Kapitaleinsatz und anfänglich einen erhöhten Managementaufwand erfordern (REICHARDT und JÜRGENS 2008, S. 589).

*D. h., die Precision Farming-Anwendung erzeugt positive Umweltwirkungen, für die der Anwender am Markt nicht entlohnt wird. Er zahlt alle Kosten, bekommt aber nur den betriebswirtschaftlich monetarisierten Teil des Nutzens zurück. Der übrige, insbesondere der ökologische Nutzen geht an die Allgemeinheit.*

Wird dadurch eine staatliche Förderung des Precision Farming legitimiert, und wenn ja, welche wäre die richtige Form dafür? Eine staatliche Förderung von Precision Farming ist aber nur dann zu rechtfertigen, wenn die Technologieeinführung tatsächlich positive allokativen oder distributiven Wirkungen für die Gesellschaft erwarten lässt, die sonst nicht realisiert werden könnten. Bisher beruhen die Aussagen zu der Vielzahl positiver Umweltwirkungen des Precision Farming aber primär auf empirisch nicht überprüften Erwartungen, bzw. Thesen.

---

<sup>9</sup> siehe weiter vorne: Werner 2008.

### Box 1. Fragestellungen der Arbeit

1. Welche ökologischen Nachhaltigkeitsziele kann Precision Farming tatsächlich erreichen?
2. Lohnt sich der Einsatz von Precision Farming im Landbau bereits betriebswirtschaftlich? Und gleichen Umweltentlastungspotenziale des Precision Farming vielleicht sogar betriebswirtschaftliche Verluste aus?
3. Wo ist die Einführung des Precision Farming ökologisch sinnvoll und vor allem ökonomisch vertretbar? Auf welchen Flächen lohnt sich ein Einsatz? Und bringt eine flächenweite Einführung/Ausdehnung des Precision Farming in Deutschland einen positiven gesamtwirtschaftlichen Nutzen?
4. Ist eine staatliche Förderung von Precision Farming legitim?

Diese Problem- bzw. Fragestellungen konnten bisher in der Literatur und im Vorgänger-Forschungsprojekt zu pre agro II nicht eindeutig beantwortet werden.

*Ziel* der folgenden wissenschaftlichen Arbeit ist es nun, eindeutige qualitative und quantitative Aussagen zur volkswirtschaftlichen Bedeutung des Precision Farming in Deutschland zu treffen, wobei die monetäre Bewertung der Umweltwirkungen eine zentrale Rolle spielt. Auf der Grundlage dieser Ergebnisse soll dann eine agrarpolitische Empfehlung bzgl. einer staatlichen Förderung von Precision Farming ausgesprochen werden.

### 1.3. Aufbau der Arbeit

So ergibt sich für diese Arbeit folgender Aufbau: Wie bereits oben dargestellt, wird hier in der *Einleitung* in *Kapitel 1* neben der allgemeinen Beschreibung der Technologie des Precision Farming die zentrale Fragestellung mit dem Ziel der Arbeit herausgearbeitet und vorgestellt. Als geeignete Untersuchungsmethode zur Analyse der volkswirtschaftlichen Bedeutung des Precision Farming ist die Nutzen-Kosten-Analyse ausgewählt worden<sup>10</sup>. So setzt sich *Kapitel 2* mit den *theoretischen Grundlagen der Methode der Nutzen-Kosten-Analyse* auseinander. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die Darstellung der umweltökonomischen Möglichkeiten zur monetären Bewertung ökologischer Wirkungen gelegt. Nach der theoretischen Diskussion

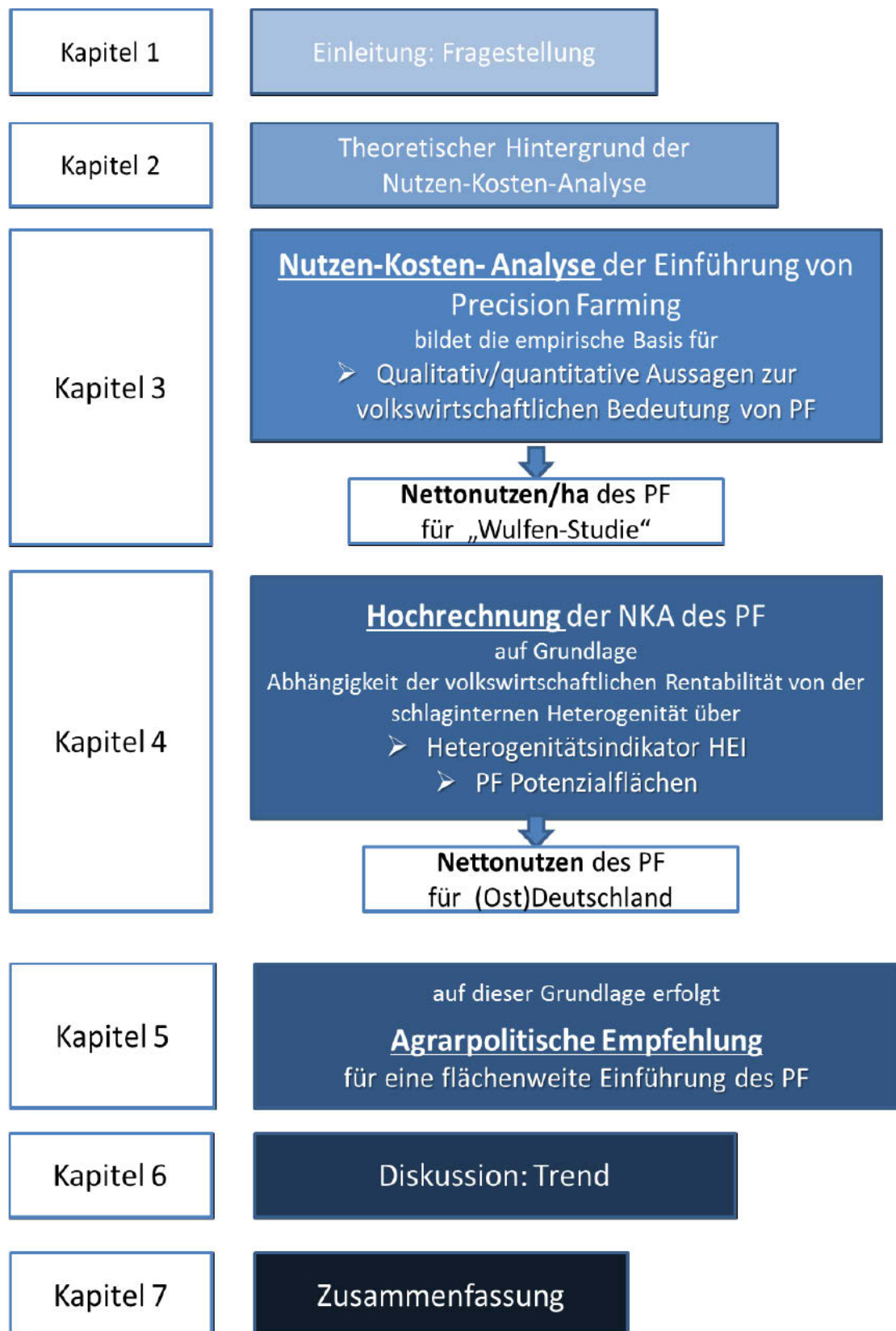
---

<sup>10</sup> Begründung und Hintergründe hierzu siehe Kapitel 2

der Eignung der Nutzen-Kosten-Analyse als Bewertungsinstrument zur Messung der Effizienz einer flächenweiten Einführung von Precision Farming im Landbau in Deutschland folgt in *Kapitel 3* die *Nutzen-Kosten-Analyse eines schlagspezifischen Einsatzes von Precision Farming in der Landwirtschaft in Deutschland am Beispiel der „Wulfen-Studie“*. Anhand dieser empirischen Untersuchungen können eindeutige Aussagen zur ökonomischen und ökologischen Vorteilhaftigkeit des Precision Farming für den Standort „Wulfen“ (Sachsen-Anhalt) getroffen werden, was schließlich im Nettonutzen/ha Ausdruck findet. Die *Hochrechnung* dieser auf Betriebsebene erstellten Ergebnisse erfolgt in *Kapitel 4* über die Abhängigkeit der volkswirtschaftlichen Rentabilität von der schlaginternen Heterogenität mittels eines eigens entworfenen Heterogenitätsindikators (HEI). Die Modellierung von Precision-Farming-Potenzialflächen in Ostdeutschland führt schließlich zu einer Abschätzung des Nettonutzens des Precision Farming für (Ost)Deutschland. Auf Basis der in Kapitel 3 und 4 gewonnenen Erkenntnisse kann dann in *Kapitel 5* dieser Arbeit eine *agrarpolitische Empfehlung* bzgl. einer staatlichen Förderung zu einem flächenweiten Einsatz der Precision-Farming-Technologie in Deutschland ausgesprochen werden. In *Kapitel 6* wird ferner der Stand des *Precision Farming* und seine Ausbreitung *in der Zukunft* mit möglichen *Trends diskutiert*, während sich abschließend in *Kapitel 7* die *Zusammenfassung* findet.

Einen zusammenfassenden Überblick über die methodische Herangehensweise der volkswirtschaftlichen Analyse eines flächenweiten Einsatzes des Precision Farming in Deutschland liefert Abbildung 1.

Abbildung 1. Vorgehensweise und Untersuchungsansatz der volkswirtschaftlichen Analyse des Precision Farming



## 2. Die Nutzen-Kosten-Analyse und ihre theoretischen Grundlagen, historische Entwicklung, Aufbau und Bedeutung

### 2.1 Theoretische Grundlagen einer Nutzen-Kosten-Analyse

Die grundlegende Idee der Nutzen-Kosten-Analyse ist einfach: Um über den Wert eines Projektes bestimmen zu können, in das öffentliche Aufwendungen eingehen, ist es notwendig, dessen Vorteile sowie Nachteile abzuwägen. Das Aufgabengebiet einer Nutzen-Kosten-Analyse ist für gewöhnlich eingeschränkt auf öffentliche Projekte, weil die Vor- und Nachteile als soziale Gewinne und Verluste definiert werden. Die Nutzen-Kosten-Analyse gibt dabei vor, den Weg aufzuzeigen, den die Gesellschaft vorzieht. Dort wo nur eine Möglichkeit unter vielen möglichen Projekten ausgewählt werden kann, sollte die Nutzen-Kosten-Analyse den Entscheidungsträger informieren welche der Optionen von der Gesellschaft am meisten bevorzugt wird (DASGUPTA und PEARCE 1978, S. 19).

#### 2.1.1. Definition der Nutzen-Kosten-Analyse

So ist die Nutzen-Kosten-Analyse (NKA) die unter gesamtwirtschaftlichen Aspekten vorgenommene systematische Bewertung von Maßnahmen im Hinblick auf bestimmte Ziele, meist mit öffentlichem Charakter (ANDEL 1977, S. 477), d. h., es müssen alle Vor- und Nachteile<sup>11</sup> eines öffentlichen Projektes ermittelt und vergleichbar gemacht bzw. die vorteilhafteste Alternative identifiziert werden (MÜHLENKAMP 1994, S. 3). Die Nutzen-Kosten-Analyse ist eine Methode, die öffentliche Projekte nach ihrer wirtschaftlichen Ergiebigkeit bewertet (SCHOLLES 2001, S. 221). Dabei ergibt sich die Notwendigkeit ökonomischer Betrachtungen bei der Durchführung öffentlicher Projekte aus dem grundlegenden Problem knapper Ressourcen. Ökonomen sprechen in diesem Zusammenhang von der optimalen Ressourcenallokation. Öffentliche Projekte sollen dementsprechend zu einer größtmöglichen gesellschaftlichen Nutzensteigerung führen (positiver Nettonutzen). Um dieses Ziel zu erreichen, sind möglichst genaue Kenntnisse aller Projektkosten und -nutzen erforderlich (MÜHLENKAMP 1994, S. 3).

---

<sup>11</sup> Im Sprachgebrauch der Ökonomen werden im weitesten Sinne Vorteile als *Nutzen* und Nachteile als *Kosten* bezeichnet. Die Messung der Nutzen und Kosten erfolgt in der Regel in Geldeinheiten (Mühlenkamp 1994, S. 3).



Nutzen-Kosten-Analysen finden hauptsächlich in den öffentlichen Sektoren Verkehr, Bildung, Gesundheitswesen, Regionalplanung und Kultur Anwendung (HANUSCH 1995, S. 556). Sie stellt das bekannteste wirtschaftlichkeitsanalytische Verfahren für den öffentlichen Sektor dar und beruht einerseits auf den normativen Vorstellungen der Wohlfahrtsökonomie, andererseits auf Erkenntnissen privatwirtschaftlich orientierter Investitionsrechnungen (HANUSCH 1987, S. 1).

Das Wesentliche der Nutzen-Kosten-Analyse ist, dass sie nicht auf Entscheidungen begrenzt ist, die ein einzelnes Individuum betreffen. Sie betrifft vielmehr eine Gruppe von Individuen, innerhalb einer Region, eine ganze Nation etc. (PEARCE und NASH 1981, S. 5). Der Nutzen-Kosten-Analytiker betrachtet die Welt also aus gesellschaftlicher Perspektive. So sind bei öffentlichen Vorhaben die Folgen für alle betroffenen Wirtschaftssubjekte zu berücksichtigen (MÜHLENKAMP 1994, S. 9). Damit schließt die Nutzen-Kosten-Analyse nichtmarktliche Vorgänge ein, also positive oder negative externe Effekte, wie sie bspw. im Umweltschutz vorkommen (ANDEL 1998, S. 86).

Für eine Nutzen-Kosten-Analyse von Precision Farming müssen vor allem auch die Umweltwirkungen, die von Precision Farming ausgehen, in die Analyse mit einfließen. Darüber hinaus müssen aber bspw. auch die Auswirkungen auf öffentliche Güter, wie der „Erhalt der Kulturlandschaft“, in das Kalkül mit einbezogen werden.

Arbeitsdefinitionen zu grundlegenden Begrifflichkeiten dieser Arbeit, wie Allokation, Effizienz, öffentliche Güter und externe Effekte finden sich nachfolgend in Box 2.

## Box 2. Arbeitsdefinitionen

*Allokation* ist die Steuerung knapper Ressourcen in bestimmten Verwendungen. Sie beschreibt den Verteilungsvorgang von Gütern und das Ergebnis der Verteilung.

*Effizienz* beschreibt die Relation von Aufwand und Ertrag pro Zeiteinheit.

*Öffentliche Güter* können im Gegensatz zu privaten Gütern nicht aufgeteilt und verkauft werden. Bei öffentlichen Gütern liegt eine Nutzungskonkurrenz unter Konsumenten nicht vor. Es gilt das Prinzip der non-rivalness/separability. Außerdem greift das Prinzip der nicht Ausschließbarkeit (non-excludability d. h., nur derjenige, der zahlt, kommt in den Genuss eines Gutes) nicht. Der Anreiz, öffentliche Güter privat anzubieten ist gering, weil der Anbieter wegen der fehlenden Ausschließbarkeit nicht auf Bezahlung durch seine Kunden rechnen kann.

*Externe Effekte* beschreiben Wirkungen, die bei unbeteiligten Dritten an anderer Stelle in der Volkswirtschaft anfallen. Diese können positiv oder negativ sein. Man unterscheidet also externe Nutzen und Kosten. Da diese Wirkungen nicht am Markt gehandelt werden, existiert für sie kein Preis. Somit sind sie nur schwer monetär zu quantifizieren. So versucht man, sich diese über Näherungslösungen zu erschließen (genauer siehe bspw. HANUSCH 1985, AHLHEIM und FRÖR 2003). Kurz gesagt sind externe Effekte nicht kompensierte Vor- oder Nachteile, die Dritten durch wirtschaftliche Aktivität entstehen.

Quelle: basierend auf ANDEL 1977, BLUM et al. 2003, HANUSCH 1987, SCHOLLES 2001 und WÜSTEMANN 2004

### 2.1.2. Ziel und Zweck der Nutzen-Kosten-Analyse

Ziel der Nutzen-Kosten-Analyse ist es, den Entscheidungsträger bei der Bewertung der Vor- und Nachteile eines Projektes zu unterstützen, bei dem die erwarteten Gewinne und Verluste aus Sicht der Gesellschaft betrachtet werden. Dabei ist anzunehmen, dass der Entscheidungsträger/Analytiker darauf abzielt, den gesellschaftlichen Nettonutzen zu maximieren<sup>12</sup> (PEARCE und DASGUPTA 1978, S. 23). Es stellt sich also die Frage, ob die Gesellschaft als Ganzes besser gestellt sein wird, wenn sie

---

<sup>12</sup> Dass dies unter realen Bedingungen nicht immer zu gewährleisten ist, soll an dieser Stelle nur erwähnt sein.

ein bestimmtes Projekt unternimmt anstatt es nicht zu realisieren und stattdessen ein anderes Projekt aus einer Reihe von Projekten verwirklicht (MISHAN 1971, S. 7).

Die Erstellung und Durchführung einer Nutzen-Kosten-Analyse kann dabei unterschiedlichen Absichten entspringen. So kann die Nutzen-Kosten-Analyse zunächst einmal ein Instrument eines Entscheidungsträgers sein, um Auswirkungen einzelner geplanter Maßnahmen möglichst genau zu erfassen (BMF 1973, S. 203).

Desweiteren kann eine Nutzen-Kosten-Analyse angestellt werden, um Entscheidungsprozesse transparent zu machen (HANUSCH 1987, S. 156). Größere Transparenz wird dabei tendenziell von denen begrüßt, die sich eine besondere Berücksichtigung ihrer Ziele versprechen, d. h. ein Interesse an Kontrolle und kritischer Analyse öffentlicher Tätigkeiten haben (ANDEL 1977, S. 478). Schließlich kann eine Nutzen-Kosten-Analyse zu Zwecken einer politischen Legitimation durchgeführt werden, sozusagen als Vorbereitung politischer Entscheidungen (SCHOLLES 2001, S. 221).

Sie kann aber auch zur Verteidigung der Entscheidung verwendet werden, wenn die Projektwahl bereits definitiv getroffen ist. Diese Art von Ex-post-Analyse ist nicht zu befürworten, kann jedoch in einem größeren Kontext politisch sinnvoll sein. Sie kann durchaus auch politische Widerstände reduzieren, die Vorteilhaftigkeit von einem anderen Standpunkt aus zeigen und künftige Entscheidungen erleichtern (ANDEL 1977, S. 478 f.).

Nach BLANKART (2006, S. 486 f.) führt aber letzterer Durchführungszweck sehr schnell zu einem politischen Missbrauch der Nutzen-Kosten-Analyse. So gehen die Interessen von Politikern teilweise dahin, Nutzen-Kosten-Analysen politisch zielkonform zu machen, also entsprechend zu manipulieren. Davor sind aber auch grundsätzlich „unabhängige“ Analytiker nicht gefeit, da menschliches Handeln, Denken und Wahrnehmen niemals nur objektiv ist und die Methode der Nutzen-Kosten-Analyse aufgrund einiger kritischer Aspekte somit auch Manipulationsmöglichkeiten bietet. Eine ausführliche Betrachtung der Grenzen und kritischen Aspekte einer Nutzen-Kosten-Analyse findet sich in den Schlussbetrachtungen dieses Kapitels, in Punkt 2.4 wieder.

Die vorliegende Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming wird in einem „forschungs-wissenschaftlichen“ Zusammenhang erstellt. Der Auftraggeber ist das Forschungsprojekt „pre agro II“ selbst, in dessen Rahmen die Nutzen-Kosten-Analyse angefertigt wird. Die Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming dient vorrangig

dazu, die Auswirkungen einer flächenweiten Einführung dieser Technologie im Landbau ex ante und möglichst genau, insbesondere bzgl. seiner ökologischen Auswirkungen, zu erfassen und offenzulegen. Die Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming bezieht sich also auf eine *genaue Erfassung aller Auswirkungen* in Kombination mit einer *großen Transparenz* für Entscheidungsprozesse.

So können die Ergebnisse der in Kapitel 3 durchgeführten Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming den entsprechenden politischen Entscheidungsträgern zu einer Entscheidungsunterstützung bei der Frage nach einer Einführung einer staatlichen Förderung dieser Technologie (siehe Kapitel 5) dienen.

### 2.1.3. Arten von Nutzen-Kosten-Untersuchungen

Im Allgemeinen werden drei Arten von Nutzen-Kosten-Untersuchungen unterschieden: die *Nutzen-Kosten-Analyse*, als bekanntestes Verfahren für den öffentlichen Sektor, die *Kosten-Wirksamkeitsanalyse* und die *Nutzwertanalyse* (MÜHLENKAMP 1994, S. 6 f.). Die Nutzen-Kosten-Analyse wurde bereits in Kap. 2.1.1. beschrieben. Es folgt nun in Box 3 und Box 4 eine kurze Definition der Kosten-Wirksamkeitsanalyse und der Nutzwertanalyse<sup>13</sup>.

#### Box 3. Die Kosten-Wirksamkeitsanalyse

Die Kosten-Wirksamkeitsanalyse vergleicht öffentliche Projekte auf der untergeordneten projektspezifischen Zielebene über operationalisierbare Subziele mit jeweils anderen Kosten (HANUSCH 1987, S. 153). Die Kosten werden dabei über Marktpreise ermittelt (monetär bewertet), der Nutzen dagegen über physische Größen (BLANKART 2006, S. 483).

Da die Kosten-Wirksamkeitsanalyse nur darüber informieren kann, inwieweit ähnliche Projekte in ihrer relativen Stellung zueinander abschneiden und nicht die absolute Vorteilhaftigkeit bestimmter öffentlicher Vorhaben beurteilt (HANUSCH 1987, S. 164 f.), kommt die Kosten-Wirksamkeitsanalyse für die vorliegende Fragestellung in dieser Arbeit nicht in Betracht.

#### Box 4. Die Nutzwertanalyse

---

<sup>13</sup> Für weiterführende Informationen siehe die dortigen Quellenangaben.

Die Nutzwertanalyse ist ein nicht monetäres Bewertungsverfahren (SCHOLLES 2001, S. 231) und konzentriert sich in der Bewertung vorrangig auf die Nutzenseite von Projekten (MÜHLENKAMP 1994, S. 7 f.). Wie die Kosten-Wirksamkeits-Analyse hat auch die Nutzwertanalyse die Aufgabe, alternative öffentliche Projekte im Rahmen eines multidimensionalen Zielsystems auf ihre Wirtschaftlichkeit hin zu untersuchen und nach ihrer Vorteilhaftigkeit zu ordnen. Diese Ordnung wird hierbei in Nutzwerten ausgedrückt (HANUSCH 1987, S. 167).

Die Nutzwertanalyse ist geeignet, wenn dimensionslose Zahlen (nicht in Geldwerten ausgedrückt) zur Bewertung vorliegen, anhand derer zwischen verschiedenen Alternativen eine Entscheidung gefällt werden muss (HANUSCH 1987, S. 175). Mit ihrer Hilfe sollen nicht-monetäre Teilziele vergleichbar gemacht werden, um so eine Entscheidung zwischen mehreren Alternativen treffen zu können (KLEMPIEN 2013).

Die Nutzwertanalyse versagt aber (wie auch die Kosten-Wirksamkeitsanalyse) immer dann, wenn es um die Beurteilung der gesamtwirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit einer Maßnahme geht (MÜHLENKAMP 1994, S. 8).

#### *Die volkswirtschaftliche Analyse des Precision Farming*

Da sich die Kosten-Wirksamkeitsanalyse nicht eignet, ein isoliertes Projekt, wie bspw. das Projekt der Landbewirtschaftung mit Hilfe der Technologie des Precision Farming in ihrer gesamtwirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit eindeutig zu beurteilen, und die Nutzwertanalyse auch keine Aussagen zu einer gesamtwirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit einer Maßnahme geben kann, erscheint für die *gesamtwirtschaftliche Betrachtung* der Auswirkungen des Precision Farming im Landbau die *Nutzen-Kosten-Analyse* die geeignete Methode.

Die Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming verfolgt in dieser Arbeit schwerpunktmäßig die Einbeziehung der relevanten ökologischen Projektwirkungen. Dies birgt die große Hürde der monetären Umweltbewertung in sich, die es gilt, möglichst realitätsgetreu abzubilden. So sollte bspw. der Mehrwert des Precision Farming bzgl. der Ansiedlung von Feldlerchen im Winterweizen monetär bewertet werden. Derartige Wirkungen können aber nur über Bewertungsmethoden der Umweltökonomie, über sog. Näherungslösungen monetarisiert werden (bspw. die Methode der kontingenten Bewertung, Vermeidungskostenmethode etc.). Um den durch Precision Far-

ming verursachten „Mehr- oder Minderwert“ von Umweltgütern zu ermitteln, bedient sich die Umweltbewertung des Precision Farming in einem ersten Schritt der *Nutzwertanalyse*<sup>14</sup>. Den einzelnen von Precision Farming (PF) potenziell ausgehenden Umweltwirkungen werden Zielerreichungsgrade (Nutzwerte) von Naturschutz-Fachexperten beigemessen und mit dem Zustand bei konventioneller Bewirtschaftung verglichen. Treten Unterschiede in den Zielerreichungsgraden („mit PF – ohne PF“) der Umweltwirkung auf, kann dann geschlussfolgert werden, dass tatsächlich eine Umweltwirkung von Precision Farming ausgeht (positiv oder negativ). Ist so eine Umweltwirkung festzumachen, erfolgt die monetäre Bewertung der Umweltwirkungen des Precision Farming über Werte aus der Literatur (benefit transfer). Auf diesen Ansatz wird in Kapitel 3.1 explizit eingegangen.

#### **2.1.4. Herkunft der Methode der Nutzen-Kosten-Analyse und Bestimmung des Wohlfahrtsmaßes**

Die Methode der Nutzen-Kosten-Analyse hat ihren Ursprung in der Wohlfahrtsökonomie (PEARCE und NASH 1981, S. 81).

Das ausschlaggebende Kriterium für den Wert, den ein Güterbündel hat, ist für die Nutzen-Kosten-Analyse nur der Beitrag, den dieses Güterbündel zur individuellen Bedürfnisbefriedigung leistet. Dieser Beitrag ergibt sich wiederum aus dem *Nutzen*, den der Einzelne aus dem Konsum von Gütern ziehen kann. Gemäß dem individualistischen Werturteil wird die gesellschaftliche Wohlfahrt von den individuellen Nutzenniveaus bestimmt (HANUSCH 1987, S. 2). Das Grundprinzip dabei ist, dass individuelle Nutzenänderungen so gemessen werden wie die Individuen sie bewerten würden (LAYARD und GLAISTER 1994, S. 2).

Doch die Realisierung öffentlicher Maßnahmen hat nicht nur positive Wirkungen zur Folge. Bestimmt durch die Knappheit von Ressourcen, erfolgt oft ein Abzug dieser aus alternativen Verwendungen (Produktionseinschränkungen). Der daraus resultierende Konsumverzicht entspricht den volkswirtschaftlichen *Kosten* eines Projekts. So werden in der Nutzen-Kosten-Analyse die Opportunitätskosten zur Bewertung der Kosten herangezogen (DASGUPTA und PEARCE 1978, S. 47).

---

<sup>14</sup> Die Nutzwertanalyse wurde weiter oben nur zum Zwecke einer gesamtwirtschaftlichen Bewertung der Auswirkungen des Precision Farming verworfen!

Die Nutzen-Kosten-Analyse bezieht nun alle von öffentlichen Maßnahmen ausgehenden gesellschaftlichen Kosten *und* Nutzen(änderungen) in die Analyse mit ein. Diese werden auch als *Wohlfahrt*(sänderungen) bezeichnet. Gemäß dem individualistischen Werturteil setzen sich die gesellschaftlichen Wohlfahrtsänderungen aus individuellen Kosten- und Nutzenänderungen zusammen (MÜHLENKAMP 1994, S. 9, 23). So kommt als letztlisches Wertkriterium der Nutzen-Kosten-Analyse der *Nettonutzen* zum Tragen, der sich aus der Differenz von gesellschaftlichen Nutzen und Kosten ergibt (DASGUPTA und PEARCE 1978, S. 48).

*Als Hauptzweck eines staatlichen Projektes wird daher meist die Maximierung des Nettonutzens in gesamtwirtschaftlicher Sicht gesehen* (PETERSEN und MÜLLER 1999, S. 156).

Zur Ableitung eines Wohlfahrtsmaßes für die Nutzen-Kosten-Analyse kommen nun zwei Konzepte, die des ordinalen versus kardinalen Nutzenkonzeptes in Betracht. Da die Diskussion der Problematik der beiden Nutzenkonzepte für die Untersuchungen der vorliegenden Arbeit überhaupt keine Rolle spielen<sup>15</sup>, sei an dieser Stelle auf die entsprechende Literatur, bspw. bei PEARCE und NASH (1981, S. 23 ff.) hingewiesen.

So erfolgt die Ableitung eines praktikablen Wohlfahrtsmaßes für die Nutzen-Kosten-Analyse auf Annahmen der kardinalen Nutzenmeßbarkeit (PEARCE und NASH 1981, S. 26) und der Möglichkeit interpersoneller Nutzenvergleiche und umgeht so das Problem der Pfadabhängigkeit<sup>16</sup> (HANUSCH 1987, S. 57).

Grundlegende Indikatoren für die Bewertung von individuellen Nutzenänderungen<sup>17</sup> (auf der Nachfrageseite) sind die Konsumentenrente und die maximale Zahlungsbereitschaft. Zur Berechnung von Konsumentenrenten genügt es, gewöhnliche (Marshall'sche) Nachfragefunktionen zu kennen. Diese lassen sich normalerweise durch

---

<sup>15</sup> Wie in Kapitel 2.1.4.1 erläutert wird, führt Precision Farming höchstens zu vernachlässigbaren Preisverschiebungen auf Märkten.

<sup>16</sup> In Abhängigkeit von der Reihenfolge, mit der die durch ein Projekt hervorgerufenen Einzelwirkungen analysiert werden, kann das Konzept der Konsumentenrente (Marshall) unterschiedliche Ergebnisse liefern. Verschiedene „Wege“ (Pfade), auf dem die Einzelwirkungen gedanklich verfolgt werden, können zu voneinander abweichenden Analyseergebnissen führen. Das numerische Maß der Konsumentenrente hängt also von dem Weg (Pfad) ab, den die Anpassungsvorgänge jeweils nehmen. Man spricht in diesem Kontext vom *Pfadabhängigkeitsproblem* (MÜHLENKAMP 1994, S. 42 und HANUSCH 1987, S. 30 ff.).

<sup>17</sup> Im Folgenden wird nur noch von *Nutzenänderungen* gesprochen, da individuelle Kosten als negative Nutzen verstanden werden können.

Marktbeobachtungen oder ökonometrische Schätzungen ermitteln. Im Rahmen dieser Verfahrensweise werden implizit Situationen mit unterschiedlichen individuellen Nutzenniveaus verglichen. Hierbei spricht man vom *kardinalen Nutzenkonzept* (HANUSCH 1987, S. 16 ff.).

Bei den bisherigen Betrachtungen stand die Ermittlung von Nutzenänderungen einzelner Personen im Vordergrund. Ziel der Nutzen-Kosten-Analyse ist es aber, Nutzenänderungen *aller* von einem Projekt betroffenen Personen zu bewerten (Aggregation der individuellen Nutzenänderungen). Da der Nutzen der Individuen annahmegemäß durch die Menge der ihnen zur Verfügung stehenden Güter bestimmt wird, kann das *Pareto-Kriterium* als klassisches Kriterium zur Beurteilung unterschiedlicher, der Gesellschaft zur Verfügung stehender Güterbündel herangezogen werden (MÜHLENKAMP 1994, S. 73). Demnach sollte ein Projekt dann verwirklicht werden, wenn dadurch zumindest eine Person besser gestellt ist und alle anderen Individuen dabei nicht verlieren (LAYARD und GLAISTER 1994, S. 6). Staatliche Projekte, besonders umweltpolitische Maßnahmen, haben allerdings in der Regel sowohl Gewinner also auch Verlierer zur Folge (HANUSCH 1987, S. 18 f.). Das Pareto-Kriterium kann nicht erfüllt werden. Wenn man diesem Prinzip dennoch folgen will, müssen die Nettoeinkünfte aller Beteiligten Individuen die Verluste kompensieren können (LAYARD und GLAISTER 1994, S. 6).

Aus diesem Grund wurde in der Folge das *Kaldor-Hicks-Kompensationskriterium* angewendet, demzufolge ein Projekt dann einen positiven Nettonutzen aufweist und damit realisiert werden soll, wenn die Gewinner die Verlierer entschädigen könnten und danach immer noch besser gestellt wären (PEARCE und NASH 1981, S. 27 f.). Nach diesem Kriterium ist es nicht notwendig, dass die Ausgleichszahlungen auch tatsächlich erfolgen. Der entscheidende Punkt ist, dass die Gewinner mehr gewinnen als die Verlierer verlieren, sich also ein positiver Nettonutzen ergibt. Dabei spielt es in der Theorie keine Rolle, wer die Gewinner und wer die Verlierer einer (umwelt)politischen Maßnahme sein werden und wie viel diese gewinnen oder verlieren. In der Realität ist es aber zur Beurteilung öffentlicher Maßnahmen sehr wichtig zu wissen, wer im konkreten Fall gewinnt und wer verliert (HACKL und PRUCKNER 2001, S. 83 f.).



#### 2.1.4.1. Bestimmung des Wohlfahrtsmaßes

Wie in den vorherigen Abschnitten deutlich wurde, können die von einem Projekt ausgehenden Wohlfahrtsänderungen auf preisbedingte Änderungen der Konsumentenrente, auf Einkommensänderungen oder auf beides zurückgehen. Aber nicht jede öffentliche Maßnahme ändert das volkswirtschaftliche Preisgefüge. Keine Preisänderungen ergeben sich, wenn die Nachfrage oder das Angebot auf den betroffenen Märkten vollkommen elastisch reagieren. Auch in Relation zur Gesamtwirtschaft führen *kleine Projekte* nicht unbedingt zu Änderungen der Güter- und Faktorpreise (MÜHLENKAMP 1994, S. 102). Solche *kleinen Projekte* wirken meist nur auf kommunaler und regionaler Ebene (HANUSCH und KUHN 1995, S. 557). Es sind daher nur Mengenänderungen zu berücksichtigen, die sich einfach bewerten lassen: Outputs mit deren Marktwert, den Konsumgüterpreisen, und Inputs, aus anderen Verwendungen verdrängt, mit deren Marktwert, den Faktorpreisen (PEARCE und NASH 1981, S. 25).

Somit erhält man für kleinere Projekte einen *praktikablen Wohlfahrtsindikator*, der Wohlfahrtswirkungen beschreibt, die sich aus den *volkswirtschaftlichen Nutzen* (+) und den *volkswirtschaftlichen Opportunitätskosten* (-) zusammensetzen (HANUSCH 1987, S. 57 ff.).

#### Wohlfahrtsindikator

$\text{Nettonutzen} = \text{volkswirtschaftlicher Nutzen} + \text{volkswirtschaftliche Opportunitätskosten}$
--

(HANUSCH 1987, S. 59)

Der volkswirtschaftliche Nutzen beschreibt dabei die Summe aller mit ihren Preisen bewerteten Mengenänderungen im Output der davon betroffenen Güter. Die Opportunitätskosten summieren die mit den jeweiligen Faktormengen multiplizierte Inputmenge, die zugunsten des Projekts aus anderen Verwendungen abgezogen werden.

Diese Gleichung ist nun ein Instrument, das der praktischen Umsetzung dienlich ist. Alle Größen können unmittelbar beobachtet werden, die Outputfaktoren eines Projektes ebenso wie die Mengen an Inputfaktoren (MÜHLENKAMP 1994, S. 104).

Vereinfacht kann auch geschrieben werden

$$\text{Nettonutzen (x)} = \text{Nutzen (x)} - \text{Kosten (x)}$$

(x) = die in diesem Projekt verwendeten Ressourcen

(DASGUPTA und PEARCE 1978, S. 48)

#### *Anwendungsbereich der Nutzen-Kosten-Analyse*

Aus Sicht der Wohlfahrtstheorie gibt es keinen Anlass für eingreifendes staatswirtschaftliches Handeln, solange allein die Kriterien der allokativen Effizienz und der Paretooptimalität der Verteilung zur Beurteilung des Marktgeschehens herangezogen werden. So verliert auch die NKA ihre Berechtigung, denn sie greift nur dort ein, wo Externalitäten, d. h. Marktversagen, anzutreffen sind. Die Nutzen-Kosten-Analyse ist aus ökonomischer Sicht somit nur dort gerechtfertigt, wo der Marktmechanismus keine zufriedenstellende Lösung anbieten kann. Dies trifft im Falle eines unvollkommenen Marktes zu, wie bspw. bei der Versorgung der Bevölkerung mit Umweltgütern (MÜHLENKAMP 1994, S. 142) (siehe Beispiel Ansiedlung Feldlerchen im Getreidebau durch Precision Farming).

Wie in Kapitel 4 dieser Arbeit genauer dargelegt ist, kann man davon ausgehen, dass der Einsatz der Precision-Farming-Technologie im Landbau entscheidend von der Heterogenität des Bodens, des Ertrages etc. abhängt, die man auf dem Schlag in der jeweiligen Region vorfindet, d.h. die Technologie wird nur dort eingesetzt, wo sich deren Einsatz in Bezug auf die Standortheterogenität auch lohnt. Die Standortheterogenität dient dabei als Indikator. Es gibt also eine gewisse Heterogenitäts-Schwelle, ab der Precision Farming ökonomisch und ökologisch Sinn macht. Am Beispiel der „Wulfen-Studie“ (siehe Kapitel 3) ist das der Fall bei relativ hoher Heterogenität (ca. 17 % HEI-Heterogenitätsindikator, siehe dazu Kapitel 4.3.1). Aufgrund der in Kapitel 4.4 vorgenommenen Identifizierung von Precision-Farming-Potenzialflächen kann an dieser Stelle bereits mit Sicherheit behauptet werden, dass Precision Farming nur in einzelnen Regionen Deutschlands eingeführt und angewendet werden wird. Das Projekt der Einführung von Precision Farming in Deutschland wirkt also auf kommunaler und regionaler Ebene. Unter der Annahme, dass Precision Farming nur kommunal oder regional eingesetzt wird, ist gesamtwirtschaftlich betrachtet von keiner großen Wirkung auszugehen. So wird die Technologie des Precision Farming auch keinen Einfluss auf die geltenden Marktpreise nehmen.

Deshalb kann für das Precision-Farming-Projekt von unvollkommenen Märkten ausgegangen werden, so dass eine Vielzahl von Externalitäten zu erwarten sind, für die keine Marktpreise existieren (Marktversagen). Genau an diesem Punkt setzt die Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming an und macht dort auch Sinn. Die Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming zielt darauf ab, den Output an externen Effekten für die Bevölkerung offenzulegen und ökonomisch zu bewerten. Im weiterführenden Sinne stellt sich sogar die Frage, ob nicht auch politische Interventionen durch die Förderung von Precision Farming gerechtfertigt wären.

Somit stellt die Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming ein *kleines Projekt* dar und folglich kann auch der oben beschriebene *Wohlfahrtsindikator für kleine Projekte* angewendet werden. Der Nettonutzen setzt sich aus volkswirtschaftlichen Nutzen und volkswirtschaftlichen Opportunitätskosten zusammen, die von dem Projekt der Einführung der Precision-Farming-Technologie im Landbau ausgehen.

## **2.2 Entwicklung und Stand der Anwendung der Nutzen-Kosten-Analyse in der ökonomischen Umweltbewertung**

Um auf die Entwicklung der Nutzen-Kosten-Analyse in Deutschland auf umweltpolitischer Ebene etwas näher einzugehen, muss zunächst ein kurzer Blick auf die Entwicklung in den USA geworfen werden.

### **2.2.1 USA**

In den USA hat die ökonomische Bewertung der Umwelt traditionell einen vergleichsweise großen Stellenwert. Historisch lässt sich diese politische Bedeutung der ökonomischen Umweltbewertung auf die in den USA weitverbreitete Anwendung der Nutzen-Kosten-Analyse zur Bewertung staatlicher Großprojekte zurückführen (MARGGRAF und STREB 1997, S. 10 f.).

Bereits in den 1930er Jahren wurde diese Methode eingesetzt, um insbesondere Projekte der Wasserwirtschaft nach einem gesamtwirtschaftlichen Effizienzkriterium zu bewerten (ENDRES und HOLM-MÜLLER 1998, S. 178). In den 60er Jahren weckten dann die Probleme der Nutzen-Kosten-Analyse das Interesse von Ökonomen im Bereich der Universitäten, welche u. a. zu den bekannten Publikationen von O. Eckstein, J.V. Krutilla/O. Eckstein und R.N. McKean führten. Diese gelten als die ersten Standardwerke (ANDEL 1977, S. 480). Im weiteren Verlauf der Jahre beschränkte sich die Anwendung von Nutzen-Kosten-Analysen in den USA längst nicht nur auf

den Sektor, für den sie ursprünglich konzipiert worden war. Nach 1965 waren Nutzen-Kosten-Analysen in allen amerikanischen Bundesbehörden bei jeglicher Budgetplanung „per Empfehlung“ der Bundesbehörden zu verwenden (ANDEL 1977, S. 481).

Ab 1981 verpflichtete die Exekutivverordnung „executive order 12291“ (ENDRES und HOLM-MÜLLER 1998, S. 178) die amerikanischen Bundesbehörden im Bereich der Wasserwirtschaft, alle bedeutenden Regulierungsmaßnahmen einer Wirkungsanalyse, einer „Regulatory Impact Analysis“, zu unterziehen (MARGGRAF und STREB 1997, S. 11). Dabei haben die Behörden bei der Planung und Festlegung von Maßnahmen dem gesellschaftlichen Nettonutzen einen hohen Stellenwert einzuräumen (ENDRES und HOLM-MÜLLER 1998, S. 178 f.). Den USA wird seit den 80er Jahren in der Nutzen-Kosten-Analyse und besonders in der ökonomischen Umweltbewertung sogar eine „Vorreiterstellung“ zugesprochen (MARGGRAF und STREB 1997, S. 10).

### **2.2.2 Deutschland**

In Deutschland sind Nutzen-Kosten-Analysen seit 1969 bei öffentlichen Maßnahmen mit größerer finanzieller Bedeutung vorgeschrieben. Geregelt wird die Verwendung von Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen in § 7 Abs. 2 Bundeshaushaltsordnung (BHO) für den Bund, in § 6 Abs. 2 Haushaltsgrundsätzegesetz (HGrG) für die Länder und in § 10 Abs. 2 der Gemeindehaushaltsverordnung für die Gemeinden (ANDEL 1977, S. 481; SCHOLLES 2001, S. 221, MARGGRAF und STREB 1997, S. 19 und ENDRES und HOLM-MÜLLER 1998, S. 182).

Detaillierte, weitergehende Verfahrensvorschriften, wie sie bspw. in den USA entwickelt wurden, fehlen bis heute in Deutschland. Allein eine vorläufige Verwaltungsvorschrift zu § 7 Abs. 2 der BHO vom 21. Mai 1973 ist als „Erläuterungen zur Durchführung von Nutzen-Kosten-Untersuchungen“ erlassen worden (ANDEL 1977, S. 481; BMF 1973 und BLANKART 2006, S. 467).

Im Mittelpunkt dieser Erläuterungen steht ein bewusst allgemein gehaltenes in elf Stufen gegliedertes Verfahrensmuster zur Durchführung einer Nutzen-Kosten-Analyse (BMF 1973, S. 204 ff.):

1. Stufe: Problemdefinition
2. Stufe: Konkretisierung eines Zielsystems
3. Stufe: Bestimmung eines Entscheidungsfeldes
4. Stufe: Auswählen und Darstellen der in der weiteren Analyse zu untersuchenden Maßnahmen (Vorauswahl der Alternativen)
5. Stufe: Erfassen und Beschreiben der entscheidungsrelevanten Nutzen und Kosten
6. Stufe: Bestimmen der Messskala
7. Stufe: Bewertung der Nutzen und Kosten
8. Stufe: Analyse der Unsicherheitsfaktoren im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse
9. Stufe: Gegenüberstellung der quantifizierten Nutzen und Kosten (inkl. Diskontierung)
10. Stufe: Verbales Beschreiben der nicht quantifizierten Nutzen und Kosten
11. Stufe: Gesamtbeurteilung

Die Anwendung von Nutzen-Kosten-Analysen bezog sich in Deutschland bisher in erster Linie auf die Bewertung von Projekten. Im Unterschied zu den USA werden Gesetze und Rechtsverordnungen in Deutschland nicht mit Hilfe von Nutzen-Kosten-Analysen bewertet (MARGGRAF und STREB 1997, S. 19), d. h. in der Praxis der Bundesrepublik Deutschland, dass Gesetze und Verordnungen grundsätzlich keiner Wirtschaftlichkeitsuntersuchung unterzogen werden (ENDRES und HOLM-MÜLLER 1998, S. 182).

Vor 1969 wurden Nutzen-Kosten-Analysen in Deutschland in nur wenigen Fällen erstellt. Das war anders bei den in die Entwicklungshilfe eingeschalteten Institutionen, speziell bei der Kreditanstalt für Wiederaufbau, deren Tätigkeit im Ausland einen starken Zwang zur Übernahme international gebräuchlicher Evaluierungsmethoden mit sich brachte (ANDEL 1977, S. 481).

Nutzen-Kosten-analytisch bewertet wurden in der Vergangenheit in Deutschland zum einen wasserwirtschaftliche Großprojekte, wie die Errichtung von Talsperren, der Bau von Kanälen, Straßen, Bahnlinien, Flughäfen. Zum anderen waren es aber

auch Projekte zur Verbesserung der Gewässergüte, bei deren Bewertung auch Projektwirkungen wie Freizeit- und Erholungswerte und ökonomische Werte verringerter gesundheitlicher Risiken ermittelt wurden (MARGGRAF und STREB 1997, S. 19). Eines der ersten Umwelteffekte berücksichtigenden Projekte, die durch eine Nutzen-Kosten-Analyse evaluiert wurden, war der Bau des Rhein-Main-Donau-Kanals (1976 und 1981/82) (SCHOLLES 2001, S. 223). Die Bewertung von Umweltschäden in Deutschland steckte zu dieser Zeit noch in den Anfängen. So wurde ein großer Teil der Umwelteffekte, für die heute Bewertungsverfahren bekannt sind, als monetär nicht bewertbar und nur verbal beschreibbar eingestuft (ENDRES und HOLM-MÜLLER 1998, S. 183). Diese sind somit auch nicht als Wert in den Nettonutzen dieses Projektes eingeflossen.

Nutzen-Kosten-Analysen haben in Deutschland keine große praktische und politische Relevanz entwickelt. Am weitesten fortgeschritten ist die Anwendung von Nutzen-Kosten-Analysen im Verkehrsbereich, in der Bundesverkehrswegeplanung (MARGGRAF und STREB 1997, S. 19).

Die Bundesverkehrswegeplanung (BVWP) ist der für die Anwendung von Nutzen-Kosten-Analysen wichtigste öffentliche Aufgabenbereich in Deutschland (MARGGRAF und STREB 1997, S. 19), auch im Bereich der Umweltbewertung (Umweltb- und -entlastung durch Verkehrswege) (BVWP 2003a, S. 22). In der Bundesverkehrswegeplanung sind Nutzen-Kosten-Analysen fester Bestandteil der Planungsverfahren und Entscheidungskriterium für die Projektdurchführung. Für die Durchführung von Nutzen-Kosten-Analysen im Rahmen der Bundesverkehrswegeplanung hat das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen Verfahrensrichtlinien aufgestellt, die unter anderem auch die monetäre Bewertung verschiedener Umweltwirkungen von Verkehrsprojekten vorsehen (MARGGRAF und STREB 1997, S. 19).

So heißt es in diesen Verfahrensrichtlinien: „Die Bundesverkehrswegeplanung verfolgt das übergeordnete Ziel, die Investitionen in die Verkehrsinfrastruktur des Bundes so zu steuern, dass ein möglichst großer Beitrag zur Wohlfahrt der Bevölkerung erzielt wird. Für die praktische Bewertung konkurrierender Investitionsvorhaben ist dieses Oberziel weitergehend zu konkretisieren, wobei das Zielsystem grundsätzlich allen wohlfahrtsrelevanten Wirkungen der Investition offen stehen muss“ (BVWP 2003a, S. 21). Da in aller Regel Verkehrswege sowohl Vorteile als auch Nachteile verursachen, müssen im Rahmen der Bewertung konkurrierender erwogener (geplan-

ter) Projekte des Verkehrsbereichs auch Umweltent- und -belastungen im Zielsystem adäquat berücksichtigt werden (BVWP 2003a, S. 22). So finden sich unter den acht zentralen verkehrspolitischen und gesellschaftlichen Zielen des Bundesverkehrswegeplans 2003 u. a. das Ziel der Verringerung der Inanspruchnahme von Natur, Landschaft und nicht erneuerbaren Ressourcen sowie das Ziel der Reduktion der Emissionen von Lärm, Schadstoffen und Klimagasen (BVWP 2003a, S. 22).

Im Rahmen der Bewertung geplanter (konkurrierender erwogener) Projekte werden die in der Bundesverkehrswegeplanung übergeordneten Ziele in Form quantifizierbarer Bewertungskomponenten (Nutzenkomponenten) wie bspw. die Entlastung der Umwelt wieder aufgegriffen (BVWP 2003a, S. 22). Die Bewertung von monetarisierten Umwelteffekten erfolgt dabei anhand der Nutzenkomponenten NU1: *Vermin- derung von Geräuschbelastungen*, NU2: *Verminderung von Abgasbelastungen* und NU3: *Verminderung innerörtlicher Trennwirkungen* (siehe auch Abbildung 2) (BVWP 2003b, S. 84).

Um die Wirkungen *innerörtlicher Geräuschbelastungen* umfassend abzubilden, orientiert sich der Wertansatz im Verfahren des BVWP 2003 an den *Zahlungsbereitschaften* der Betroffenen. Im Ergebnis erfolgt die Bewertung der Lärmbelastung mit 54,71 € je Lärm-Einwohner-Gleichwert (Preisstand 1998). Die außerörtliche Geräuschbelastung wird über einen *Vermeidungskostenansatz* bewertet, der sich an den Kosten technischer Maßnahmen (z. B. begrünte Steilwand zur entsprechenden Geräuschpegelminderung orientiert) (BVWP 2003b, S. 85–86).

Abbildung 2. Bewertungs(Nutzen)komponenten der Nutzen-Kosten-Analyse im BVWP 2003

- Verbilligung von Beförderungsvorgängen (VB)
- Erhaltung der Verkehrswege (NW)
- Erhöhung der Verkehrssicherheit (NS)
- Verbesserung der Erreichbarkeit von Fahrtzielen (NE)
- Räumliche Vorteile (NR)
- **Entlastung der Umwelt (NU)**
- **NU1 Verminderung von Geräuschbelastungen**
- **NU2 Verminderung von Abgasbelastungen**
- **NU3 Verminderung innerörtlicher Trennwirkungen**
- Wirkungen des induzierten Verkehrs (NI)
- Verbesserte Anbindung von See- und Flughäfen (NH)
- Erfüllung verkehrsfremder Funktionen (NF)
- Investitionskosten (K)

Quelle: BVWP 2003a, S. 33

Die Verfahren zur Erfassung und Bewertung veränderter *Abgasbelastungen* durch den Verkehr wurden für den BVWP 2003 grundlegend überarbeitet. Erstmals werden auch die durch Klimagase (Leitkomponente CO<sub>2</sub>) verursachten globalen Schäden über *einen Vermeidungskostenansatz* bewertet (BVWP 2003b, S. 86). Dabei werden die Aufwandsmengen abgeschätzt, die erforderlich sind, um ein angestrebtes CO<sub>2</sub>-Reduktionsziel zu erreichen (BVWP 2003b, S. 88). Als Reduktionsziel zur langfristigen Stabilisierung der Erdatmosphäre wird in Übereinstimmung mit den Empfehlungen der Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ des Deutschen Bundestages eine Verminderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland bis zum Jahr 2050 um 80 % gegenüber den Emissionswerten des Jahres 1987 gewählt. Die Kosten technischer Maßnahmen zur Erreichung dieses Reduktionszieles werden in vorliegenden Studien in einer Bandbreite zwischen 163 und 205 € je Tonne CO<sub>2</sub> abgeschätzt (BVWP 2003b, S. 88).

Überregional wirkende Emissionen an Kohlenmonoxid (CO), Kohlenwasserstoffen (CH) und Stickoxiden (NO<sub>x</sub>), Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) und Stäube schädigen in erster Linie die Vegetation. Entsprechende *Schadenskostenschätzungen* umfassen die Ver-



luste der Forstwirtschaft, Schäden für die Wasserwirtschaft und den Bodenschutz sowie Verluste an Erholungsmöglichkeiten. Da die differenzierte Zuordnung der Schäden zu den genannten einzelnen Schadstoffen nicht möglich ist, werden diese rechnerisch in die Referenzgröße  $\text{NO}_x$ -Äquivalente umgesetzt. Zum Preisstand von 1998 ergibt sich ein Schadenskostenansatz von 365 € je Tonne  $\text{NO}_x$ -Äquivalent (BVWP 2003b, S. 88).

Bei den krebserregenden Luftschadstoffen werden die Substanzen Dieselruß, Benzol sowie Benz-(a)-pyren als Leitsubstanz für die polyaromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) berücksichtigt. Die Immissionen werden unmittelbar über die schädigenden Elemente bewertet, d. h. auf die Festsetzung von Grenzwerten wird verzichtet. Über die Maßeinheit des „unit risk“ kann für die jeweils ermittelte Immissionskonzentration das verkehrsbedingte Risiko abgeschätzt werden, an Krebs zu erkranken. Der *Schadenskostenansatz* für krebserregende Schadstoffe wird analog zu den Todesfällen infolge Atemwegserkrankungen mit 0,79 Mio. € je Schadensfall angesetzt (BVWP 2003b, S. 88 f.).

Die Abschätzung weiterer Schäden durch innerörtliche Abgasbelastungen erfolgt auf Basis der für die Leitkomponenten  $\text{NO}_x$  ermittelten Immissionsbelastungen. Die erfassten Gesundheits- und Gebäudeschäden umfassen Erkrankungen der Atmungsorgane und Herz-Kreislaufleiden sowie Schäden an Wohngebäuden. Rechnerisch werden die Gesamtschadenskosten auf die mit der Immissionskonzentration  $\text{NO}_x$  gewichtete Anzahl betroffener Einwohner bezogen. Für diese „Schadstoff-Einwohner-Gleichwerte“ (SEG) ergibt sich ein *Schadenskostenansatz* von 3,37 € je SEG (BVWP 2003b, S. 89).

Mit der *innerörtlichen Trennwirkung* werden die bewerteten Zeitverluste aus Fußgängerwarte- und Umwegezeiten für das Überqueren der Fahrbahn beschrieben. Für die Bewertung der Zeitverluste wird ein *Zeitkostenansatz* verwendet. Etwaige Zeit- und Fühlbarkeitsschwellen bleiben bei der Bewertung von Trennwirkungen allerdings außer Ansatz (BVWP 2003b, S. 89).

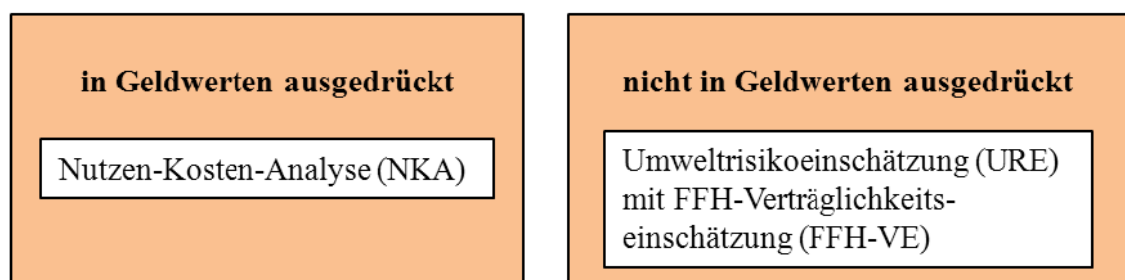
Dabei erscheint die Monetarisierung von Projektwirkungen nicht für alle Wirkungsbereiche von geplanten Verkehrsinvestitionen sinnvoll oder durchführbar. Dies trifft u. a. auf Teile von Umweltwirkungen zu, wie ökologische Risiken einer Verkehrsinvestition (BVWP 2003a, S. 23). Da beim BVWP 2003 Qualität und Quantität, aber auch die Gewichtung der umwelt- und naturschutzfachlichen Belange im Rahmen

der rechtlichen Möglichkeiten eine wichtigere Rolle spielen als in der Vergangenheit, ergänzt die Umweltrisikoeinschätzung (URE) mit der FFH-Verträglichkeits-einschätzung (FFH-VE) das Bewertungsverfahren um die qualitative Beurteilung von raumbezogenen Umweltrisiken, soweit Umweltauswirkungen nicht bereits monetarisiert im Rahmen der Nutzen-Kosten-Analyse berücksichtigt werden (siehe Abbildung 3) (BVWP 2003c, S. 13 f.).

Mit dieser Systematisierung der Wirkungserfassung werden die Belange der Umwelt jedoch nicht vollständig aus der Nutzen-Kosten-Analyse herausgelöst. Es verbleiben wesentliche Komponenten der Umweltwirkungen (Abgase, Lärm, innerörtliche Trennwirkung) im monetären Bewertungssystem der Nutzen-Kosten-Analyse. Die Umweltrisikoeinschätzung behandelt die jeweils hierüber hinausgehenden Belange dieser Politikbereiche (BVWP 2003a, S. 23).

Trotz der betont bedeutungsvollen Herausstellung der Umwelt-Risiko-Einschätzung in der modernisierten Methodik des BVWP 2003 fehlt im hier eine konkrete Darstellung der Zusammenführung der Ergebnisse der NKA und der URE. Die URE scheint letztendlich nur einen sehr geringen Einfluss auf die Projektauswahl im BVWP 2003 zu haben. So stellen sich lediglich die Bewertungsergebnisse aus einer Nutzen-Kosten-Analyse und die dort monetär bewertbaren Umweltwirkungen für eine Projektauswahl als ausschlaggebend dar.

Abbildung 3. Projektbewertung im BVWP 03 bzgl. der Umweltwirkungen (schematisch)



Quelle: BVWP 2003c, S. 12

Daher bleibt die Zusammenführung der Bewertungskomponenten der NKA und der URE im BVWP 2003 „schleierhaft“ und mit „vagen Aussagen“ behaftet (BÜKER 2004, S. 35). Seitens externer Umweltschutzverbände wird diese modernisierte Bewertungsmethodik des BVWP 2003 sogar als unzureichend kritisiert (BÜKER 2004, S. 2).

Doch nicht alle wesentlichen Umweltwirkungen von Verkehrsprojekten werden über den BVWP 2003 erfasst. Die Zerstörung von Biotopen oder die Trennwirkung von Verkehrswegen für Tiere bleiben bspw. unberücksichtigt (MARGGRAF und STREB 1997, S. 20). Dies ist auch durch die Modernisierung des BVWP 2003 nicht verbessert worden. Die fehlende Einbeziehung dieser Umweltwirkungen in die Projektbeurteilung wird mit methodischen Schwierigkeiten bei der monetären Bewertung und mangelnder Akzeptanz der monetären Bewertung dieser Umweltwirkungen begründet (MARGGRAF und STREB 1997, S. 21)

Um diese Defizite auszugleichen, sind 1991 vom Bundesumweltministerium zehn Studien veröffentlicht worden, die unter dem Forschungsschwerpunkt „Kosten der Umweltverschmutzung/Nutzen des Umweltschutzes“ von unabhängigen Institutionen durchgeführt wurden. Die Zielsetzung bestand in der möglichst umfassenden Ermittlung des ökonomischen Wertes der Umwelt in Deutschland. Eine Darstellung der Ergebnisse dieser zehn Studien findet sich bei MARGGRAF und STREB (1997, S. 22 f.)

Wie man anhand der Aufstellung dort erkennen kann, werden in nur einer Studie (Bewertung des Arten- und Biotopschutzes, HAMPICKE et al. 1991) sowohl die mit einer Umweltschutzmaßnahme verbundenen Nutzen als auch deren Kosten ermittelt und gegenübergestellt. In allen anderen Studien werden nur die Nutzen aus einer Verringerung der Umweltverschmutzung, nicht jedoch die Kosten von umweltpolitischen Maßnahmen ermittelt. Insofern stellen diese Studien keine vollständigen Nutzen-Kosten-Analysen dar (MARGGRAF und STREB 1997, S. 21).

Zur Bewertung der Kosten des Arten- und Biotopschutzes sind in der Studie von Hampicke et al. (1991) einerseits Einkommenseinbußen der Landwirtschaft als auch andererseits echte Kosten aus einer Bereitstellung knapper Faktoren (Aufbau Biotop) herangezogen worden. Auf der Nutzenseite wurde diesen Kosten die Zahlungsbereitschaft der Bevölkerung für eine Verbesserung der Umweltsituation über Befragung gegenübergestellt. So ist die Zahlungsbereitschaft für den Arten- und Biotopschutz in Deutschland zwei- bis zehnmal so hoch wie die Kosten eines effektiven Schutzprogramms. Damit ist das Ergebnis als Aufforderung an eine den Bevölkerungswillen respektierende Wirtschaftspolitik zu verstehen, den Naturschutz auf eine neue Grundlage zu stellen und ihn um Größenordnungen auszuweiten (HAMPICKE et al. 1991, S. ii-iv).

Damit haben nicht nur die Nutzen-Kosten-analytische Untersuchung von HAMPICKE et al. (1991), sondern auch die weiteren Studien dieses Forschungsauftrages „Kosten der Umweltverschmutzung/Nutzen des Umweltschutzes“ den Informationsstand und das Umweltbewusstsein verschiedener Bevölkerungsgruppen verbessert. Sie haben verdeutlicht, dass mit politischen Maßnahmen zum Schutz der Umwelt erhebliche ökonomische Vorteile verbunden sind. Ökonomische Bewertungsverfahren stellen eine nützliche Entscheidungshilfe dar und sprechen für eine stärkere Einbeziehung ökonomischer Bewertungsverfahren in die umweltpolitischen Entscheidungsprozesse (MARGGRAF und STREB 1997, S. 25).

Trotz dieser positiven Einschätzung sind Nutzen-Kosten-Analysen in Deutschland, wie bereits erwähnt, immer noch nicht als gesetzlich verbindliches Entscheidungsverfahren für wirtschafts- oder umweltpolitische staatliche Maßnahmen vorgesehen. Für eine zunehmende politische Bedeutung der Nutzen-Kosten-Analyse und der ökonomischen Bewertung der natürlichen Umwelt in Deutschland spricht jedoch zum einen der in vielen europäischen Ländern seit Beginn der Achtzigerjahre sprunghafte Anstieg empirischer Studien über den ökonomischen Wert der natürlichen Umwelt (MARGGRAF und STREB 1997, S. 25). Zum anderen findet die Verwendung von Nutzen-Kosten-Analyse und ökonomischen Verfahren zur Bewertung umweltrelevanter Maßnahmen zunehmend Eingang in umweltpolitische Programme nationaler und internationaler Institutionen, wie bspw. der Bericht der Kommission der Europäischen Gemeinschaft über die „Umsetzung des Programms der Europäischen Gemeinschaft für Umweltpolitik und Maßnahmen im Hinblick auf eine dauerhafte und umweltgerechte Entwicklung“ zeigt (MARGGRAF und STREB 1997, S. 25 f.).

Im Jahre 2007 veröffentlichte das Umweltbundesamt eine „Methodenkonvention zur Bewertung von Umweltschäden“. Mit dem dort vorgeschlagenen sieben-stufigen standardisierten Vorgehen zur Schätzung externer Kosten und Umweltschäden (UMWELTBUNDESAMT 2007, S. 80)<sup>18</sup> folgt die Methodenkonvention ganz allgemein betrachtet und in den wesentlichen Bewertungsschritten den „Erläuterungen“ des BMF (1973, S. 203 ff.).

---

<sup>18</sup> Siehe dort Details zum standardisierten Vorgehen

### **2.3 Aufbau und Durchführung einer Nutzen-Kosten-Analyse: Das 11-Stufen-Verfahrensmuster**

Mittelpunkt einer Nutzen-Kosten-Analyse stellt nach den „Erläuterungen zur Durchführung von Nutzen-Kosten-Untersuchungen“ des BMF (1973) das in elf Stufen gegliederte Verfahrensmuster der Nutzen-Kosten-Analyse dar.

Das Verfahrensmuster ist bewusst allgemein gehalten, um Ausgangspunkt aller Arten von Nutzen-Kosten-Untersuchungen zu sein. Die elf Stufen behandeln den gesamten Ablauf einer Nutzen-Kosten-Analyse von der Beschreibung der Aufgabe (Stufe 1) bis zur Gesamtbeurteilung und Erstellen einer Rangordnung der untersuchten Maßnahmen (Stufe 11) (BMF 1973, S. 203). Die nachfolgende Tabelle 1 gibt die elf nach SCHOLLES (2001, S. 222) aktualisierten Arbeitsschritte des Verfahrensmusters der Nutzen-Kosten-Analyse mit einer kurzen Charakterisierung wieder. Dabei wird im folgenden Kapitel noch kein direkter Bezug zur Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming genommen, der ausführlich in Kapitel 3.4 erfolgt, um Wiederholungen zu vermeiden.

Die Schritte 1 bis 4 des Verfahrensmusters werden als „Vorfeld“ der Analyse oder „Voranalyse“ bezeichnet (in Tabelle 1 weiß unterlegt). Sie beinhalten politische (Vor-)Entscheidungen. Die Schritte 5 bis 11 gehören zur Analyse im engeren Sinne (SCHOLLES 2001, S. 222). Dabei liegt der Schwerpunkt bei der Nutzen-Kosten-Analyse auf den Schritten 6 bis 9 (in Tabelle 1 orange unterlegt) mit der Bewertung der Wirkungen bis zu ihrer Gegenüberstellung als quantifizierte Nutzen und Kosten.

Das Verfahren der Nutzen-Kosten-Analyse ist als iterativer Prozess zu verstehen, bei dem die Ergebnisse der vorangegangenen Stufe jeweils als Grundlage in die folgenden Stufen eingehen. Auf diese Weise wird von Stufe zu Stufe eine zunehmende Konkretisierung erzielt. Das heißt aber auch, dass nach dem Prinzip der Rückkopplung neu eingearbeitete Ergebnisse auf Aktualität in den vorangegangenen Stufen zu korrigieren sind.

Tabelle 1. Arbeitsschritte der Nutzen-Kosten-Analyse

Arbeitsschritt	Erläuterung
1. <b>Beschreibung</b> der Aufgabe	Was wird betrachtet, was insbesondere nicht?
2. Konkretisierung eines <b>Zielsystems</b>	Festlegung der relevanten Entscheidungskriterien
3. <b>Nebenbedingungen</b>	Analyse der Rahmenbedingungen, die den Entscheidungsspielraum beeinflussen oder begrenzen
4. Festlegung der relevanten <b>Alternativen</b>	Technische Alternativen, Systemalternativen, Null-Alternativen
5. <b>Erfassen</b> und Beschreiben <b>aller</b> entscheidungsrelevanten Wirkungen ( <b>Nutzen und Kosten</b> )	Berücksichtigung aller auftretenden realen Wirkungen der einzelnen Alternativen bezüglich der Ziele, Prognose der Auswirkungen der Alternativen
6. <b>Bewertung</b> der Wirkungen (Nutzen und Kosten)	Nutzen und Kosten werden in monetären Größen bewertet, Kosten sind negativer Zielbeitrag, Nutzen sind positiver Zielbeitrag, intangible Wirkungen werden nur beschrieben
7. <b>Sensitivitätsanalyse</b>	Feststellen der Empfindlichkeit der Analyseergebnisse gegenüber Änderungen der Annahmen und Eingangsdaten
8. <b>Diskontierung</b>	Zeitliches Vergleichbarmachen der Projektwirkungen
9. <b>Gegenüberstellung</b> der quantifizierten Nutzen und Kosten	Berechnung des Nettogegenwartswert und/oder Nutzen-Kosten-Verhältnis (Bruttonettoprinzip: Alle (abgezinsten) Nutzen werden saldiert, alle (abgezinsten) Kosten ebenfalls. Nettonutzenprinzip: Alle Nutzen, sowie Betriebs- und Unterhaltungskosten (negative Nutzen) werden saldiert, alle Investitionskosten ebenfalls)
10. Verbales Beschreiben der <b>Intangibles</b>	Gesonderte Darstellung der nicht quantifizierten Nutzen und Kosten
11. <b>Gesamtbeurteilung</b> und Entscheidung	Entscheidung für diejenige Alternative mit dem besten Nettogegenwartswert oder Nutzen-Kosten-Verhältnis unter nachrichtlicher Einbeziehung intangibler Wirkungen. Berücksichtigung von Risiko und Unsicherheit

Quelle: Eigene Darstellung nach SCHOLLES 2001, S. 222 und BMF 1973, S. 203 ff., UMWELTBUNDESAMT 2007, S. 54 ff.

### 2.3.1 Beschreibung der Aufgabe – Stufe 1

Im ersten Schritt der Nutzen-Kosten-Analyse muss die Fragestellung der zu untersuchenden Maßnahme genau erfasst und beschrieben werden. Was wird betrachtet, was insbesondere nicht (Scholles 2001, S. 222) Die Arbeiten zur Beschreibung der Aufgabe richten sich im Umfang nach der Komplexität der zu beurteilenden Maßnahme. In Fällen begrenzter und klar beschreibbarer Probleme kann die Arbeit an der Nutzen-Kosten-Analyse ohne größere Vorarbeiten beginnen (BMF 1973, S. 204).

### 2.3.2 Die Konkretisierung eines Zielsystems – Stufe 2

Die Arbeiten zur zweiten Stufe der Nutzen-Kosten-Analyse befassen sich mit der konkreten Festlegung des Zielsystems einer geplanten Maßnahme (BMF 1973, S. 204). Zumeist ist die Ausgangslage des zu untersuchenden Aufgabenkomplexes der Nutzen-Kosten-Analyse durch eine Vielzahl unterschiedlicher Ziele gekennzeichnet. In einem Zielsystem wird die Summe aller für die Entscheidung relevanten Ziele festgelegt. Traditionell steht das Allokationsziel im Vordergrund der Nutzen-Kosten-Analyse. Dieser Ansatz wird insbesondere im Hinblick auf die Nichtberücksichtigung des Verteilungsaspektes schon lange als zu eng kritisiert (ANDEL 1998, S. 88). PEARCE und NASH (1981, S. 11) halten dagegen, dass in gewisser Weise in jeder Nutzen-Kosten-Analyse auch bereits eine gewisse Bewertung der Einkommensverteilung mitberücksichtigt ist<sup>19</sup>.

Zum Festlegen eines Zielsystems sind möglichst alle entscheidungsrelevanten Ziele zu erfassen. Diese Ziele werden dann in einem zweiten Schritt in operationalen Teilzielen konkretisiert und mit Zielkriterien versehen (BMF 1973, S. 206). Zur Beschreibung der positiven oder negativen Wirkungen eines Projektes ist es notwendig, die Ziele genau und konkret zu formulieren (ANDEL 1998, S. 87), da es nur so möglich ist, Indikatoren der Zielerfüllung festzulegen und eine Umsetzung in monetär messbare Indikatoren zu erreichen (ANDEL 1977, S. 484). Was von den Wirkungen, die im Rahmen der Nutzen-Kosten-Analyse untersucht werden, als Nutzen und Kosten anzusehen ist, hängt entscheidend von der Zielfunktion ab.

#### Box 5. Definition Nutzen und Kosten

*Nutzen* sind im Hinblick auf bestimmte Ziele positiv bewertete Wirkungen der Durchführung eines Projektes. *Kosten* sind im Hinblick auf die gleichen Ziele negativ bewertet (ANDEL 1998, S. 87).

Die Ermittlung von Personengruppen, die durch ein öffentliches Projekt positiv oder negativ betroffen sind, ist im Rahmen der gewählten Ziele für die Nutzen-Kosten-

---

<sup>19</sup> ...“that some judgement about a desirable income distribution is implicit in any CBA.” (cost-benefit-analysis) (PEARCE und NASH (1981, S. 11)).

Analyse ebenfalls von Interesse. Die Frage nach dem relevanten Personenkreis sollte in räumlicher und zeitlicher Hinsicht abgegrenzt und klar definiert werden.

Die räumliche Abgrenzung einer Nutzen-Kosten-Analyse liegt meist im nationalen Rahmen, weniger im internationalen, ist aber abhängig von Projekt und Vorgaben (HANUSCH 1987, S. 5). Die zeitliche Abgrenzung hängt maßgeblich vom Planungshorizont der Maßnahmen/Projekte ab. Man kann die Analyse entweder auf die lebende Generation beschränken (Existenzwert) oder aber sämtliche nachfolgende Generationen mit berücksichtigen (Vermächtniswert). In der Regel beschränkt man sich auf terminierte Zeiträume, die zwischen beiden Positionen liegen (ANDEL 1998, S. 88).

#### Box 6. Definition Options-, Existenz- und Vermächtniswert

Güter können u. U. einen Wert haben, der über den unmittelbaren „Nutzwert“ eines Gutes hinausgeht, nicht in Zusammenhang mit der unmittelbaren Nachfrage steht und auch nicht direkt beobachtbar auf den Märkten ist. Diese Werte können den *Options-, Existenz-, und Vermächtniswert* betreffen. Der **Optionswert** wird einem Gut beigemessen, das der Bewerter zum Zeitpunkt der Bewertung nicht nutzt, dessen mögliche Nutzung er sich aber für die Zukunft offenhalten möchte. Der **Existenzwert** erfasst den Wert, der bestimmten Gütern oder Lebewesen aus deren purer Existenz beigemessen wird (bspw. Erhalt von Tierarten). Bestimmten Gütern, wie Naturereignissen, Kunst- und Baudenkmälern oder Lebewesen kann ein **Vermächtniswert** zugeordnet werden, der darauf abzielt, derartige Güter zukünftigen Generationen zu vererben (MÜHLENKAMP 1994, S. 232 f.).

### 2.3.3 Nebenbedingungen der Nutzen-Kosten-Analyse – Stufe 3

Die Beschreibung der Nebenbedingungen der Nutzen-Kosten-Analyse soll die Gesamtheit der den Entscheidungsspielraum beeinflussenden oder begrenzenden Gegebenheiten offenlegen. Das Entscheidungsfeld umfasst alle objektiv gegebenen Umwelterscheinungen, die den Entscheidungsspielraum zwingend beeinflussen oder begrenzen. Hierzu zählen vor allem physische, wirtschaftliche, soziale, juristische und politische Rahmenbedingungen (BMF 1973, S. 206). Vor allem die wirtschaftlichen und politischen Nebenbedingungen haben jeweils einen starken Einfluss auf die Auswahl und die Durchführung öffentlicher Projekte.



So müssen sich die Kosten geplanter Projekte im Rahmen vorgegebener Budgetansätze bewegen. Projekte dürfen aber auch quantitative oder qualitative Standards, die eine bestimmte Politik vorgibt, nicht über- oder unterschreiten. Häufig sind der Nutzen-Kosten-Analyse auch umweltpolitische Ziele in Form von Nebenbedingungen vorgegeben, wie bspw. die Förderung strukturschwacher Regionen (HANUSCH 1987, S. 12 f.).

#### **2.3.4 Festlegung der relevanten Alternativen und der Mit-Ohne-Vergleich – Stufe 4**

In einem letzten Schritt innerhalb der Voranalyse einer Nutzen-Kosten-Analyse müssen mögliche Projektalternativen generiert werden. Dieser Alternativsuche kommt eine große Bedeutung zu, da letztlich die Nutzen-Kosten-Analyse und ihre abschließende Empfehlung immer nur so gut sind wie die in Betracht gezogenen Alternativen (HANUSCH 1987, S. 13). Projektalternativen können bspw. technische Alternativen, Standortalternativen, Systemalternativen oder Null-Alternativen sein (HANUSCH und KUHN 1995, S. 557).

##### *Der Mit-Ohne-Vergleich*

Das Grundprinzip der Nutzen-Kosten-Analyse beruht auf einem Situationsvergleich zwischen der künftigen Entwicklung bei Verwirklichung des zu analysierenden Projekts und einer Nichtdurchführung des Projekts (MÜHLENKAMP 1994, S. 24). Es erfolgt also ein Vergleich *Mit und Ohne* geplantes Projekt. Nur so kann der Mehr- oder Minderwert einer Maßnahme und seiner Wirkungen ermittelt werden.

#### **2.3.5 Identifizierung von Projektwirkungen – Stufe 5**

Dieser Abschnitt der Nutzen-Kosten-Analyse beschäftigt sich mit dem Erfassen und Beschreiben der entscheidungsrelevanten Vor- und Nachteile sowie der Prognose der Auswirkungen der Projektalternativen. Die Vor- und Nachteile der Projektalternativen sollen dabei als Wirkungen der einzelnen Alternativen bezüglich der Ziele betrachtet werden. Aufgabe der Nutzen-Kosten-Analyse in diesem Schritt ist es, *alle real auftretenden Wirkungen zu erfassen und den verschiedenen Wirkungsarten zuzuordnen*. Nur so kann sichergestellt werden, dass alle projektbezogenen in einer Volkswirtschaft anfallenden Nutzen und Kosten ermittelt und später in der Bewertung berücksichtigt werden (BMF 1973, S. 208).

Die Stufe der Identifizierung aller relevanten Projektwirkungen ist eines der zentralen Elemente einer Nutzen-Kosten-Analyse. Mit der sorgfältigen Identifizierung aller Wirkungen steht und fällt die Güte einer Nutzen-Kosten-Analyse. Wir sind hier an einem Punkt angelangt, der mit großer Sensibilität betrachtet werden muss, da die Sorgfalt, mit der die Stufe der Identifizierung der Projektwirkungen bearbeitet wird, großen Einfluss auf das Ergebnis einer Nutzen-Kosten-Analyse hat. Deshalb soll auch an dieser Stelle die Zuordnung von Projektwirkungen zu bestimmten Typen/Arten etwas ausführlicher erläutert werden.

In der Literatur findet sich eine Beschreibung der Typisierung von Projektwirkungen bspw. bei HANUSCH 1987 und 1995; MÜHLENKAMP 1994 und SCHOLLES 2001. So können folgende Typen/Arten von Projektwirkungen unterschieden werden:

- Real/pekuniär
- Direkt/indirekt
- Tangibel/intangibel

### **2.3.5.1 Reale und pekuniäre Wirkungen**

Reale Wirkungen eines öffentlichen Vorhabens sind jene Wirkungen, die unmittelbar die Versorgung von Individuen oder Haushalten mit Gütern oder Dienstleistungen verändern und auf diese Weise auch verändernd auf die gesellschaftliche Wohlfahrt wirken (HANUSCH 1987, S. 8).

Pekuniäre Wirkungen rufen dagegen bei Konsumenten Verteilungsänderungen auf dem Weg monetärer Transfervorgänge hervor. Dies sei anhand eines Beispiels näher erläutert, was allerdings nur bei vollständig ausgeschöpften Kapazitäten seine Richtigkeit hat: Beim Bau einer Autobahnverbindung sind typisch pekuniäre Wirkungen die zusätzlichen Gewinne, die entstehen, wenn entlang der Autobahn neue Raststätten gebaut werden und von Reisenden auch frequentiert werden. Sie führen bei den Inhabern und Angestellten zu Einkommensverbesserungen. Diesen stehen aber entsprechende Verluste bei anderen, verkehrsmäßig nunmehr ungünstiger gelegenen Bewirtungsstätten gegenüber. Die Gewinne und Verluste gleichen sich dabei so aus, dass die gesellschaftliche Wohlfahrt von der Verschiebung der individuellen Einkommen unberührt bleibt (HANUSCH 1987, S. 8 f.).

Pekuniäre Wirkungen gelten daher für die Nutzen-Kosten-Analyse nicht als echte Wirkungen auf die gesellschaftliche Wohlfahrt und werden deshalb nicht in die Analyse miteinbezogen (HANUSCH 1987, S. 9).

### **2.3.5.2 Direkte und indirekte Wirkungen**

Direkte Wirkungen sind eng auf das Projektziel bezogen und stehen in unmittelbarem Zusammenhang mit dem Projekt (SCHOLLES 2001, S. 223), z. B. Kosten für Precision-Farming-Technik oder Kostenersparnisse durch effizientere Bewirtschaftungsmaßnahmen für das Beispiel der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming.

Indirekte Wirkungen fallen an anderer Stelle in der Volkswirtschaft an, meist bei unbeteiligten Dritten, man kann auch von *externen Effekten* sprechen. Diese sind „unpriced goods or bads“ (PEARCE und NASH 2001, S. 120), also nichtpreisliche Güter, für die kein Markt existiert. Man versucht aber auf dem Gebiet der Umweltökonomie über Näherungslösungen, das sind monetäre Bewertungsverfahren für diese nichtpreislichen/marktlichen Güter, einen monetären Wert zu bestimmen (MÜHLENKAMP 1994, S. 192). Lärmbelästigung bei Baumfällarbeiten wäre bspw. ein negativer externer Effekt, der Erhalt der Kulturlandschaft dagegen ein positives Beispiel für einen externen Effekt, der bei der Bewirtschaftung der Äcker durch den Landwirt entsteht.

Es gilt also folgender Grundsatz: Direkte **und** indirekte Projektwirkungen müssen generell, sofern sie real und nicht pekuniär sind, im Rahmen der Nutzen-Kosten-Analyse berücksichtigt werden. Die Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming legt sogar ihr Haupt-Augenmerk auf die Identifizierung und Bewertung der indirekten (Umwelt)Projektwirkungen.

### **2.3.5.3 Tangible und intangible Wirkungen**

Tangible Wirkungen sind direkt monetär ausdrückbar und somit messbar. Sie liegen definitionsgemäß stets in monetärer Form vor (SCHOLLES 2001, S. 223 und HANUSCH und KUHN 1995, S. 558).

Intangible Wirkungen werden bei MÜHLENKAMP (1994, S. 192) als nicht monetär messbar, also nicht monetär ausdrückbar beschrieben. Es soll für den weiteren Verlauf dieser Arbeit genau diese rein pragmatische Herangehensweise verfolgt werden.

Die intangiblen Wirkungen sind unbedingt auch in die Nutzen-Kosten-Analyse aufzunehmen. Diese sind so präzise wie möglich (qualitativ) zu beschreiben und dem zahlenmäßigen Ergebnis der Nutzen-Kosten-Analyse am Ende beizufügen (BMF 1973, S. 212). Die Vergangenheit hat nämlich gezeigt, dass Wirkungen, die noch vor wenigen Jahren als „intangibel“ galten, heute durch den Fortschritt in der Umweltökonomie über neue Verfahren und Bewertungsansätze durchaus monetär bewertet werden können (MÜHLENKAMP 1994, S. 192).

Die Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming folgt der obigen Definition der Typisierung der Projektwirkungen. So werden alle realen Wirkungen berücksichtigt, die von einem Vergleich der Bewirtschaftung „Mit“ und „Ohne“ Precision Farming ausgehen. Die Einteilung erfolgt in direkte, indirekte und intangible Wirkungen. Dabei wird zunächst versucht, alle direkten und indirekten Wirkungen zu quantifizieren. Alle Wirkungen, für die kein monetärer Wert gefunden werden kann, gelten dann als intangibel. Wie weiter oben bereits erläutert, wird also der Begriff der intangiblen Wirkungen rein pragmatisch verstanden und beinhaltet keine ethischen Aspekte, wie bspw. die generelle Ablehnung einer monetären Umweltbewertung.

### **2.3.6 Bewertung der Projektwirkungen – Stufe 6**

Nach Identifizierung der Nutzen und Kosten einer Maßnahme folgt nun in Stufe 6 der Nutzen-Kosten-Analyse die Bewertung der Projektwirkungen in monetären Einheiten.

#### **2.3.6.1 Marktpreise vs. Schattenpreise**

Unproblematisch gestaltet sich die Bewertung der realen direkten Wirkungen in vollkommenen Märkten, für die Marktpreise existieren. Herrschen aber auf Märkten unvollkommene Bedingungen vor, wie das in der Realität oft der Fall ist, so müssen aus theoretischer Sicht sog. „*Schattenpreise*“ ermittelt werden. Schattenpreise spiegeln die „wahren“ gesellschaftlichen Grenzkosten wider. Sie sind in Geldeinheiten bewertete marginale Opportunitätskosten (MÜHLENKAMP 1994, S. 133–134). Schattenpreise sind also keine richtigen Marktpreise, sie sind vielmehr aus marktlichen Bezügen abgeleitet (Scholles 2001, S. 228) und sind korrigierte künstliche Verrechnungspreise (HANUSCH 1987, S. 60), um die realen Verhältnisse einer unvollkommenen Marktsituation korrekter abzubilden.

### *Problematik der Preiskorrekturen*

Trotz der Notwendigkeit von Schattenpreisen aus theoretischer Sicht plädieren Theoretiker der Nutzen-Kosten-Analyse, wie bspw. LAYARD und GLAISTER (1994, S. 12) dafür, Marktpreise, sofern vorhanden, unkorrigiert in die Projektbeurteilung einfließen zu lassen. Marktpreise seien oft exzellente Annäherungen an Schattenpreise. Dies sei eines der ältesten und bekanntesten Grundsätze der Wohlfahrtsökonomie.

Zudem ist eine Würdigung der Preiskorrekturen über Schattenpreise mit enormem Aufwand von Informationsbeschaffung verbunden. Es müsste nämlich auf die Produktions- und Kostenfunktionen von Unternehmen zurückgegriffen werden, die gewöhnlich nicht offen zugänglich sind. Zur Bewertung von Projektwirkungen in korrigierter Form wäre das ein enormer Aufwand (HANUSCH 1987, S. 67).

Auch DASGUPTA und PEARCE (1978, S. 116) argumentieren, dass demjenigen wirklich ernsthafte Hürden aufbaut würden, der versuche, die „wahren“ Schattenpreise für die zu bewertenden Nutzen und Kosten zu finden.

Aufgrund dieser Problematik wird im weiteren Verlauf dieser Arbeit bei der Bewertung der direkten Effekte des Precision Farming auf Schattenpreise verzichtet. Es gelten die Marktpreise. Die im Rahmen des Precision-Farming-Projektes verwendeten Produktionsfaktoren stammen nämlich aus einer großen Zahl von Wirtschaftszweigen. Ihr Anteil an den in diesen anderen Bereichen verbleibenden Produktionsfaktoren ist vernachlässigbar gering. Der Produktionsrückgang von Konsumgütern, den das Precision-Farming-Projekt in anderen Teilen der Volkswirtschaft bewirkt, ist also äußerst klein (vgl. HESSE 1980, S. 371). So kann davon ausgegangen werden, dass die von diesen Wirtschaftszweigen erzielten Güter und gezahlten Faktorpreise nahezu unverändert bleiben. Auch sind im vorliegenden Zusammenhang Preiskorrekturen kaum erforderlich, weil Marktpreise für pflanzliche Agrarprodukte nur noch wenig staatlich beeinflusst werden, man ihnen also mit gutem Glauben Grenzkostenorientierung unterstellen kann<sup>20</sup> (MÜLLER 2008).

Eine Variation der Marktpreise findet sich aber dennoch in der Sensitivitätsanalyse der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming in Stufe 7 wieder. Dort werden Einflussfaktoren der Nutzen-Kosten-Analyse, also auch die Marktpreise der direkten

---

<sup>20</sup> Der Autorin dieser Arbeit ist auf der anderen Seite wohl bewusst, dass landwirtschaftliche Produktionsfaktoren, insbesondere Flächen, nach wie vor stark preisverzerrt sind.

Wirkungen mit Zu- und Abschlägen versehen. Auf diese Weise wird die Sensitivität des Systems der Nutzen-Kosten-Analyse über Schattenpreise geprüft. Somit sollte den Empfehlungen der Literatur genügend Folge geleistet sein.

### **2.3.6.2 Indirekte Wirkungen und ihre Bewertungsmethoden**

Gibt es keinen Markt für indirekte Wirkungen (externe Effekte, öffentliche Güter), wie Erhalt und Schutz von Biotopen oder wildlebenden Arten, so gibt es also auch keinen Marktpreis für derartige Wirkungen. Angesichts dieses Defizits hat man sich laut HACKL und PRUCKNER (2001, S. 90) in der Umweltökonomie darum bemüht, pragmatische Verfahren einer Bewertung dieser Wirkungen zu entwickeln. Dank erheblicher Fortschritte in den letzten Jahren sind eine Vielzahl von Methoden und Ansätzen entwickelt worden. So können heute ein Großteil der Umweltwirkungen über derartige Näherungslösungen einer monetären Bewertung zugänglich gemacht werden (SCHOLLES 2001, S. 228). Dabei sollte immer bedacht sein, dass es sich bei monetären Werten der Bewertungsmethoden nur um bestmögliche Näherungslösungen handelt. Da der Schwerpunkt der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming auf der Bewertung der von Precision Farming ausgehenden Umweltwirkungen beruht, wird nachfolgend etwas ausführlicher auf die wichtigsten und bekanntesten Bewertungsmethoden der Umweltökonomie eingegangen.

#### *Bewertungsmethoden*

Bewertungsmethoden, d. h. Methoden zur monetären Bewertung von Projektwirkungen indirekter Art lassen sich in *direkte* und *indirekte* Bewertungsmethoden einteilen.

*Indirekte Methoden* bewerten die Wirkungen eines Projektes nicht direkt. Sie erfassen die gesellschaftlichen Erträge, bspw. einer verbesserten Umweltqualität, über Märkte für komplementäre oder substitutive private Güter. Gesellschaftlicher Nutzen wird somit über beobachtbares Verhalten der Individuen auf den Märkten gemessen (BLANKART 2006, S. 472), d. h. indirekte Bewertungsmethoden richten sich nach dem Markt, basieren also auf realen Preisen. Sie lassen sich in angebotsorientierte, also die Produktion betreffende und nachfrageorientierte Bewertungsansätze unterteilen. Indirekte angebotsorientierte Bewertungsmethoden beziehen sich auf einen Wert am Markt (Marktwert) oder gleich auf Ersatzmärkte. Die indirekten nachfrageorientierten Methoden leiten sich aus offenbarten (revealed preferences) Präferenzen der

Konsumenten in ihrem Verhalten (auch nur) in der Vergangenheit ab (AHLHEIM und FRÖR 2003, S. 358).

*Direkte Methoden* unterscheiden sich von den indirekten Methoden dadurch, dass sie nicht auf Verhaltensbeobachtungen der Individuen auf existierenden Märkten basieren. Vielmehr wird versucht, die Zahlungsbereitschaft der Betroffenen durch Befragung zu ermitteln (MÜHLENKAMP 1994, S. 192). Sie geben direkte monetäre Werte für Projektwirkungen in der Zukunft an (stated preferences). Sie sind konsumentenorientiert (Wohlfahrt, Nutzen für Gesellschaft). Indirekte Methoden dagegen suchen nach Ersatz, akzeptieren einen Schaden, d. h. sie wirken nicht vorbeugend. Außerdem richten sie sich ausschließlich nach der Vergangenheit, beziehen also zukünftige Entwicklungen nicht mit ein. Geäußerte Präferenzen, ob direkt (stated preferences) oder indirekt (revealed preferences), beziehen sich also auf die Nutzenbewertung der Nachfrageseite. Marktwerte orientieren sich am Angebot und äußern über Kostenelemente monetäre Werte (AHLHEIM und FRÖR 2003, S. 358).

Die Bewertung der indirekten Wirkungen kann in der Nutzen-Kosten-Analyse anhand indirekter Bewertungsmethoden bspw. über Aufwendungen für schadenskompensierende Güter (*Kompensationskosten*), Einbußen an Vermögenswerten (*Marktpreismethode*) oder Marktpreise für substitutive Privatleistungen (*Vermeidungskosten*) im Rahmen der Aufwandmethode vorgenommen werden. Diese Methoden basieren auf Preisen am Markt und gehen zur Bewertung von Umweltgütern, ganz allgemein gesagt, von Kosten aus, sind also auf der Angebotsseite anzusiedeln. Zu den indirekten Bewertungsmethoden gehört schließlich noch eine der bekanntesten Methoden, die *Reisekostenmethode*, die Marktpreise für komplementäre Privatleistungen ermittelt. Da die Reisekostenmethode die Präferenzen von Individuen offenbart, basiert sie als einzige der indirekten Bewertungsmethoden auf dem Nutzen und steht so auf der Nachfrageseite. Allein direkte Bewertungsmethoden, wie die *Zahlungsbereitschaftsanalyse* und *Attribute Based Choice Modelling* können zukünftige Präferenzen der Individuen bzgl. befragter Umweltgüter erfassen und monetär ausdrücken. Nachfolgend werden die einzelnen Bewertungsmethoden kurz erläutert<sup>21</sup>.

Eine Übersicht der gebräuchlichsten Bewertungsmethoden liefert Tabelle 2.

---

<sup>21</sup> ausführlicher siehe bei AHLHEIM und FRÖR (2003), BLANKART (2006), ENDRES und HOLM-MÜLLER (1998), HACKL und PRUCKNER (2001), HANUSCH (1987), HUFSCHMIDT et al. (1983), MÜHLENKAMP (1994) und SCHOLLES (2001)

Tabelle 2. Gebräuchlichste Bewertungsansätze monetär nicht direkt messbarer Projektwirkungen

	Bewertungsmethoden			
	Indirekt			Direkt
	Kostenseite/Angebotsseite (Markt)		Nutzenseite/Nachfrageseite	
	Marktwert Market value	Ersatzmärkte Surrogate markets	Offenbarte Präferenzen Revealed preferences	Zukünftige Präferenzen/ZB* Stated preferences
Externe Effekte	Kompensationskosten: Marktpreis für schadenkompensierende Güter	Marktpreismethode: Vermögenswerte von Immobilien (Hedonische Preise)		Präferenzeneruierung durch Befragung: Ermittlung der zukünftigen ZB* (WTP*); hypothetisch - Zahlungsbereitschaftsanalyse (CVM)*
Öffentliche Güter	Aufwandmethode: - Vermeidungskosten (Ersatzkosten): Substitutive Privatleistungen		Aufwandmethode: - Reisekosten: komplementäre Privatleistungen	- Attribute Based Choice Modelling: Ermittlung der durchschnittlichen ZB für ein ganzes Set von Eigenschaften für ein Umweltgut, bspw. in Choice Experiments, Conjoint Analysis etc.

Quelle: Eigene Erstellung nach AHLHEIM und FRÖR (2003), BLANKART (2006), ENDRES und HOLM-MÜLLER (1998), HACKL und PRUCKNER (2001), HANUSCH (1987), HUFSCHMIDT et al. (1983), MÜHLENKAMP (1994) und SCHOLLES (2001)

\*ZB – Zahlungsbereitschaft, WTP – Willingness To Pay, CVM – Contingent Valuation Method

### 2.3.6.3 Zahlungsbereitschaftsanalyse

Präferenzen für öffentliche Güter lassen sich direkt nur über Befragungen ermitteln (HANUSCH 1987, S. 74). Hier werden die Menschen nach ihrer „Zahlungsbereitschaft“ (Willingness To Pay) für bestimmte öffentliche Güter befragt (AHLHEIM und FRÖR 2003, S. 360). In Umfragen kann man ermitteln, wie viel die einzelnen Befragten bereit wären zu zahlen, wenn ein für sie nützliches Projektziel realisiert werden würde (SCHOLLES 2001, S. 228), wie bspw. die Erhaltung der Lerche in der Kultur-



landschaft bestimmter Regionen. Es kann aber auch nach dem Geldbetrag gefragt werden, den der Einzelne bereit wäre zu akzeptieren, um einen gewissen Nutzen zu erzielen oder Kosten zu tolerieren oder Schaden zu verhindern (ZANDER et al. 2005, S. 43). Diese Analysen werden Zahlungsbereitschaftsanalysen genannt. In den USA und im internationalen Raum werden die Ermittlung monetär ausgedrückter Präferenzen unter dem Begriff „*contingent valuation method (CVM)*“ (kontingente Bewertungsmethode) zusammengefasst (HACKL und PRUCKNER 2001, S. 95).

Der positive Charakter des zu bewertenden Gutes wird dadurch ausgedrückt, dass nach dem Betrag gefragt wird, den die Personen bereit sind maximal zu zahlen für die erhaltenen Vorteile. Der negative Charakter des zu bewertenden Gutes wird darüber ausgedrückt, dass Personen sich äußern, für welche monetäre Mindestentschädigung sie bereit wären, weiterhin alle negativen Auswirkungen zu ertragen (HACKL und PRUCKNER 2001, S. 95).

Direkte Befragungsmethoden, wie die CVM, weisen gegenüber der Anwendung indirekter Bewertungsverfahren zwei grundsätzliche Vorzüge auf. Erstens erlauben sie eine Erfassung von Options-, Existenz- und Vermächtniswerten. Die direkte Bewertung scheint also vor allem dort angezeigt, wo mit einem erheblichen Nutzen bspw. für Lebewesen, Flora und Fauna zu rechnen ist. Zweitens ermöglichen direkte Befragungen die Ermittlung der einkommensvariieren Nachfrage, die sich indirekt niemals beobachten lässt (MÜHLENKAMP 1994, S. 266).

Solche Befragungen sind aber problematisch, denn die hypothetische Frage nach einer maximalen Zahlungsbereitschaft für bspw. ein Umweltgut erzeugt oft zufällige, unrealistische und willkürliche Antworten (biases). Eine exakte Wertangabe ist generell nicht möglich (SCHOLLES 2001, S. 228). Laut BLANKART (2006, S. 476) sind Ökonomen sogar der Ansicht, dass die Präferenzen für öffentliche Güter nur indirekt, aus dem Verhalten heraus ermittelt werden können, denn bei direkten Befragungen hätten alle Individuen den Anreiz, sich strategisch zu verhalten.

Weniger geeignet scheint die CVM z. B. dann auch tatsächlich, wenn die Individuen Anreize zu verzerrten Präferenzäußerungen haben, schlecht informiert sind und über keine Erfahrung mit den zu bewertenden Gütern verfügen. Gerade bei der Erfragung von Optionswerten und intrinsischen Werten sind geringe Erfahrungen und stark hypothetische Situationen zu vermuten (MÜHLENKAMP 1994, S. 267). So sind dieser direkten Bewertungsmethode im Grunde enge Grenzen gesetzt, wobei sie aber auch

als einzige eine monetäre Aussage direkt auf monetär nicht bewertbare Projektwirkung beziehen kann und die einzige Alternative zur Kalkulation von Optionswerten und intrinsischen Nutzen darstellt.

#### **2.3.6.4 Attribute Based Choice Modelling**

Attribute Based Choice Modelling (ABCM) basiert auf der Idee, dass der Nutzen eines Umweltgutes nicht aus dem Gut selbst gezogen wird, sondern aus dessen Eigenschaften und Attributen. Auf diese Weise versucht diese ABCM-Methode, die unterschiedlichen Eigenschaften von Umweltgütern wie Wälder, Wiesen, Felder etc. zu bewerten. Unter ABCM finden sich mehrere Bewertungsmethoden zusammengefasst: Choice Experiments, Contingent Ranking, Contingent Rating (AHLHEIM UND FRÖR 2003, S. 361).

Die der ökonomischen Theorie am nächsten stehende ABCM-Methode ist die der Choice Experiments, oft auch als Conjoint Analysis bezeichnet (AHLHEIM UND FRÖR 2003, S. 361). Die Conjoint Analysis wird sehr oft zu Analysen im Bereich des Marketings verwendet.

In einem typischen Choice Experiment werden Interviewte mit verschiedenen Versionen des gleichen Umweltguts, z. B. Agrarlandschaft konfrontiert, in dem eine Version sich von den anderen durch das Niveau einiger Eigenschaften (Attributen), wie bspw. der Ausdehnung von Wäldern, Wiesen und Feldern innerhalb einer Agrarlandschaft, unterscheidet. Die Befragten werden zum einen mit unterschiedlichen Sets von Attributen konfrontiert, die jeweils ein mögliches Szenario des zu bewertenden Umweltgutes abbilden und zum anderen mit dem Geldbeitrag, den der Befragte für die Bereitstellung eines bestimmten Attribute-Sets bereit wäre zu zahlen. Ein Attribute-Set wird als "choice card" bezeichnet. Jede choice card unterscheidet sich somit von den anderen durch Quantität und Qualität einiger Attribute, so dass man eigentlich fast sagen könnte, jede choice card steht für ein anderes Umweltgut. Schließlich wird aus allen gesammelten Befragungsergebnissen ein Nutzenmodell (random utility model) geschätzt, aus dem die durchschnittliche Zahlungsbereitschaft (WTP) der Bevölkerung für das zu bewertende Umweltgut mit seinen unterschiedlichen Eigenschaften berechnet wird (AHLHEIM UND FRÖR 2003, S. 362).

### 2.3.6.5 Aufwandmethode

Bei der Aufwandmethode wird von den zum Konsum eines Umweltgutes *notwendigen Aufwendungen* auf den Nutzen des zu bewertenden Umweltgutes geschlossen (HACKL und PRUCKNER 2001, S. 91). Es wird also statt des nicht beobachtbaren Nutzens öffentlicher Güter die Nachfrage nach nahen privaten Substituten (Schadenvermeidung) und Komplementen (Reisekosten) untersucht. Der entscheidende Nachteil dieser Verfahren besteht aber darin, dass nicht immer feststeht, ob die privaten Maßnahmen tatsächlich äquivalente Substitute darstellen oder ob die betrachteten Komplemente ausschließlich und hinreichend umfassend gewählt sind (BLANKART 2006, S. 473 f.).

### 2.3.6.6 Substitutive Privatleistungen: Vermeidungskostenansatz

Die Bewertung nichtmarktgängiger Güter durch Substitute setzt eine vollständige Substituierbarkeit der nichtmarktfähigen Güter durch marktfähige Güter voraus, da nur so die Zahlungsbereitschaften der nichtmarktlichen Güter bestimmt werden können. Gegen die Annahme vollständiger Substituierbarkeit lassen sich in der praktischen Anwendung berechtigte Einwände erheben. So sind also die Bewertungsmöglichkeiten nichtmarktgängiger Güter durch marktgängige Substitute stark eingeengt (MÜHLENKAMP 1994, S. 209 ff.). Ein weiterer Einwand gegen den Vermeidungskostenansatz ergibt sich aus der Tatsache, dass die marginalen Vermeidungskosten die marginalen Schäden nur dann hinreichend exakt widerspiegeln, wenn das vorliegende Schadensemissionsniveau in der Nähe des optimalen Emissionsniveaus liegt. Ansonsten kommt es zu Fehleinschätzungen (ENDRES et al. 1991, S. 35).

Anwendungen dieser Methode finden sich z. B. bei Evaluierungen von Verkehrswegen, indem die Schadensvermeidungskosten bzw. die zum Ausgleich oder zur Abwehr schädlicher Umwelteinflüsse notwendigen Kosten berücksichtigt werden (MÜHLENKAMP 1994, S. 213).

### 2.3.6.7 Komplementäre Privatleistungen: Reisekostenmethode

Die bekannteste und am häufigsten verwendete Methode der Aufwandmethode ist die *Reisekostenmethode* (SCHOLLES 2001, S. 228). Dieses hauptsächlich zur Bewertung von öffentlichen Gütern, wie bspw. Erholungslandschaften, verwendete Verfahren, basiert auf der Annahme, dass zum Besuch von Erholungsgebieten (bspw. Na-

turparks, Badeseen) private Ausgaben in Form von Reisekosten aufgewendet werden müssen. Je größer die Entfernung zur Erholungslandschaft ist, umso höhere Reisekosten muss ein Wirtschaftssubjekt aufwenden, um das Umweltgut auch tatsächlich nutzen zu können. Auf Basis dieser Ausgaben für Reisekosten und Besuchshäufigkeiten der Wirtschaftsteilnehmer kann auf die Nachfragefunktion nach diesem öffentlichen Gut und somit auf den Nutzen der Erholungslandschaft geschlossen werden (HACKL und PRUCKNER 2001, S. 91).

Der Vorteil dieses Verfahrens liegt darin, dass sich mit ihm eine vollständige Kurve der marginalen Zahlungsbereitschaft ermitteln lässt, während die meisten anderen Methoden der monetären Bewertung nur punktuelle Informationen darüber zu liefern imstande sind. Andererseits entstehen aber doch schwerwiegende Probleme bei der Bewertung des öffentlichen Gutes (BLANKART 2006, S. 474). Hauptprobleme der Reisekostenmethode liegen in der korrekten Bewertung der Fahrt- und Zeitkosten, in fehlenden Kenntnissen über evtl. separate Nutzen der Anfahrten und über Besuche anderer Ziele, die in Verbindung mit dem Besuch der zu bewertenden Erholungsgebiete unternommen werden. Daraus ergeben sich Spielräume für willkürliche Bewertungen (MÜHLENKAMP 1994, S. 266). Eine Fehleinschätzung der Zeitkosten führt nämlich sehr schnell zu einer Unterschätzung des Nutzens aus dem Erholungsgebiet (HANUSCH 1987, S. 81). Außerdem lässt sich die Reisekostenmethode nur für räumlich begrenzte Umweltgüter anwenden, bei denen auch tatsächliche Aufwendungen für die Nutzung anfallen (HACKL und PRUCKNER 2001, S. 93).

#### **2.3.6.8 Marktpreise für schadenskompensierende Güter: Kompensationskosten**

Unter Anwendung dieses Verfahrens werden die Nutzen öffentlicher Maßnahmen über den Wert von privaten Inputgütern erfasst, die eingesetzt werden, um einen auftretenden Umweltschaden auszugleichen (HACKL und PRUCKNER 2001, S. 90), zu kompensieren. So wird hier nicht direkt die Bewertung der Leistungen oder Projektwirkungen vorgenommen, sondern eine Bewertung der externen Effekte, die als unbeabsichtigte, aber vermeidbare Nebenprodukte entstehen können. Negative externe Effekte können so über Marktpreise für schadenskompensierende Güter (Schutzmaßnahmen: schalldämpfende Fenster gegen Lärm) monetarisiert werden (SCHOLLES 2001, S. 228).

Ein Nachteil der Bewertung über *Kosten der Schadenskompensation* beschreibt die niemals vollkommene Abbildung und Erfassung aller negativen Effekte. Daneben kann es noch zu einer Unterbewertung kommen, wenn der Schaden durch eine Maßnahme nicht vollständig kompensiert wird, z. B. helfen schalldämpfende Fenster nur dann gegen Lärm, wenn sie geschlossen sind. Werden sie zum Lüften geöffnet, geht die kompensierende Wirkung der Schutzmaßnahme verloren. Überbewertung der Kompensation eines Umweltschadens erfolgt andererseits, wenn auch andere, davon gänzlich unabhängige, Zwecke erfasst werden (HANUSCH 1987, S. 88). So können bspw. festgestellte Arztbesuche meist nicht ausschließlich der Kompensation eines Umweltschadens zugeschrieben werden, sondern teilweise auch den Präferenzen für die Heilung anderer Erkrankungen (z. B. Erkältungen). Dadurch entsteht die Schwierigkeit der Zurechnung einzelner Kostenkomponenten auf den konkreten Umweltschaden (HACKL und PRUCKNER 2001, S. 91).

#### **2.3.6.9 Marktpreismethode**

Wenn auch für Umweltgüter wie reine Luft und Ruhe nicht direkt ein Preis bezahlt wird, so schlägt sich deren Qualität doch oft in den Preisen nieder, die Individuen dafür bezahlen, um in Gebieten mit guter Umwelt zu wohnen. Die Immobilienpreise werden dort im Allgemeinen höher sein als in Gebieten mit schlechter Umweltqualität. Ein Indikator für die Wertschätzung lässt sich daraus allerdings nur ableiten, wenn die Umweltqualität regionale Unterschiede aufweist und die Individuen zwischen den Regionen mobil sind (BLANKART 2006, S. 475). Unter Zuhilfenahme ökonomischer Schätzverfahren ist es dann möglich, den Einfluss einzelner Umwelt- und Risikomerkmale auf die private Güternachfrage zu quantifizieren (MÜHLENKAMP 1994, S. 194).

Der Nachteil dieses Ansatzes liegt auf der Hand. Die Kostenart ist entscheidend von der Marktlage und deren Einflussfaktoren abhängig. Immobilienpreise sind im Wesentlichen von der Nachfrage abhängig. Zudem spielen Informationsdefizite der Haushalte, um Umweltdefizite überhaupt richtig einschätzen zu können, ebenfalls eine Rolle. Die Folge ist eine systematische Unterschätzung der negativen Auswirkungen (HANUSCH 1987, S. 89 f.).

### **2.3.6.10 Brisanz der monetären Bewertung von Umweltgütern**

Insgesamt lässt sich Folgendes festhalten: Obwohl die Präferenzen für öffentliche Güter im Marktprozess verhüllt bleiben, hinterlässt deren Konsum doch mancherlei Spuren, die mit indirekten Beobachtungen oder mit direkten Befragungen aufgedeckt werden können. Von diesen Spuren bis zur konkreten Messung und Bewertung ist es allerdings ein weiter Weg. Hierzu sind Annahmen wie modellhafte Überlegungen notwendig (BLANKART 2006, S. 478).

So begründet sich die Problematik der Bewertung von nichtmarktfähigen Gütern wie Umweltgütern also zunächst in Unsicherheiten bei der Bewertung selbst. Mindestens so sehr fallen Annahmen ins Gewicht, die bei der Durchführung einer Bewertung gemacht werden müssen, wie die Wahl der Monetarisierungsmethode selbst. Für diese Annahmen gibt es ebenfalls kaum objektive Standards. Die außerordentlich große Nachfrage nach Informationen über den monetären Wert von Umweltschäden aus dem politischen, administrativen und judikativen Bereich hat schon jetzt dazu geführt, dass die Monetarisierungsforschung in den USA mittlerweile als wichtigstes Teilgebiet in der Umweltökonomie angesehen wird und dort auch den Großteil der Forschungsressourcen beansprucht (ENDRES und HOLM-MÜLLER 1998, S. 182) (siehe auch Kapitel 2.2.1).

Die Praxis der Umweltbewertung zeigt dann auch, dass die vorgestellten Methoden zur Ermittlung von Schattenpreisen jeweils für unterschiedliche indirekte Wirkungen anwendbar sind, d. h. man kann nicht mit einer der Methoden alle Externalitäten (Projekt/Maßnahme) erfassen. Die Bewertung der indirekten Wirkungen erfolgt also meist über eine große Vielfalt von Bewertungsansätzen und Methoden. Die Problematik dabei ist, dass unterschiedliche Methoden meist unterschiedliche Werte für dieselbe Wirkung erzeugen. Somit ist die Vergleichbarkeit der ermittelten Werte nicht eindeutig (SCHOLLES 2001, S. 228 f.) und die Auswahl des geeigneten Wertes zur monetären Bewertung (über die entsprechende Methode) eine große Herausforderung für den Planer und Analytiker.

Dennoch ist allen genannten Bewertungsansätzen gemeinsam, dass sie versuchen, Werte bestimmter Wirkungen über Preise, also monetär, abzubilden und vergleichbar zu machen.

Trotz alledem sei an dieser Stelle nochmal auf die gegenwärtige Rechtslage in der Bundesrepublik Deutschland verwiesen: Viele öffentliche Projekte unterliegen seit

1990 einer gesetzlich vorgeschriebenen Umweltverträglichkeitsprüfung. Im Rahmen dieser Umweltverträglichkeitsprüfung sind die umweltrelevanten Wirkungen öffentlicher Maßnahmen zu bewerten. Die Bewertung wird von den zuständigen Behörden vorgenommen, wobei üblicherweise sog. Umweltstandards als Bewertungskriterien angelegt werden (HOPPE und APPOLD 1991, S. 1223 ff.). Dies bedeutet, dass die Zulässigkeit einer Maßnahme im Wesentlichen davon abhängt, ob bestimmte Grenzwerte (z. B. für Schadstoff- oder Lärmemissionen) eingehalten werden. Eine derartige Vorgehensweise steht aber generell in Kontrast zu den monetären Bewertungsverfahren und zum Postulat der Konsumentensouveränität, da Umweltstandards nahezu ausschließlich von Experten, Lobbyisten und Bürokraten, aber nicht von den Betroffenen gesetzt und überwacht werden. Falls man dagegen den Präferenzen der betroffenen Bürger ein stärkeres Gewicht verleihen will, ist den Methoden zur indirekten und direkten monetären Bewertung der Vorzug zu geben (MÜHLENKAMP 1994, S. 193). Vielleicht führt eine bessere Berücksichtigung der Präferenzen der Betroffenen durch die Verwendung der diskutierten Methoden auch zu einer gesteigerten Akzeptanz staatlicher Maßnahmen. Jedenfalls könnte den Betroffenen das Gefühl genommen werden, dass wichtige Entscheidungen aufgrund ihnen fremder und intransparenter Präferenzen getroffen werden (MÜHLENKAMP 1994, S. 267).

Angesichts der Weiterentwicklung der Bewertungsmethoden für nichtmarktliche Güter kann heutzutage immer weniger von intangiblen Kosten und Nutzen gesprochen werden. Die Frage lautet, ob sich die zuständigen Planer den der Bewertung zugrunde liegenden Werturteilen anschließen und eine geldliche Bewertung vornehmen möchten oder nicht. Für eine Bewertung spricht, dass dabei Zusammenhänge und Bewertungen transparenter werden, die ansonsten implizit vorgenommen würden. So können die neueren Arbeiten auf dem Gebiet der direkten Bewertung von Umweltgütern Vorbildcharakter für die Durchführung von Nutzen-Kosten-Analysen haben. In einer Zeit, in der die Knappheit von Ressourcen immer deutlicher geworden sein dürfte, stellt die monetäre Bewertung öffentlicher Projekte schließlich auch einen Weg zur Erhöhung der Rationalität der Mittelverwendung öffentlicher Haushalte dar (MÜHLENKAMP 1994, S. 267).

So steht der Analytiker oder Planer in Bezug auf die Einbeziehung aller Externalitäten in die Nutzen-Kosten-Analyse vor einem Dilemma. Der Vielzahl von methodischen Unsicherheiten und Ungenauigkeiten steht der eindeutige Vorteil entgegen, dass überhaupt eine monetäre Bewertung von Umweltgütern durchgeführt wird.

Nach Ansicht der Autorin dieser Arbeit sollte dieser Vorteil **immer** wahrgenommen werden. Dabei stellt eine ökonomische Umweltbewertung niemals eine endgültige Bewertung eines Umweltgutes dar. Es ist vielmehr zu hinterfragen, welche Bewertungsmethoden zum Einsatz kommen und ob tatsächlich alle Wirkungen erfasst wurden (auch Options-, Existenz- und Vermächtniswerte<sup>22</sup>), um die Qualität einer solchen Bewertung offenzulegen. Bei der ökonomischen Bewertung der Umweltwirkungen des Precision Farming sollte der Bewertungsproblematik dahingehend entgegen gewirkt werden, dass die Basis für die Umweltbewertung nur **eine** Methode, bevorzugt die Zahlungsbereitschaftsanalyse (contingent valuation method, CVM) darstellt, die auch die Optionswerte erfasst.

### 2.3.7 Sensitivitätsanalyse – Stufe 7

Die in Stufe 6 ermittelten Kosten und Nutzen sind wegen der Ungewissheit zukünftiger Entwicklungen nur Schätzwerte. Deshalb sollte durch eine Sensitivitätsanalyse (Empfindlichkeitsanalyse) festgestellt werden, inwieweit sich durch unterschiedliche Annahmen der Eingangsdaten die Analyseergebnisse ändern (BMF 1973, S. 211).

Die Sensitivitätsanalyse prüft also die Ergebnisse auf ihre Stabilität. Sie wird durchgeführt, um das Verhalten des Nettonutzens (Nettogegegenwartswertes), dem Ergebnis einer Nutzen-Kosten-Analyse, unter Veränderung der zugrunde liegenden Annahmen (z. B. Preise und Kosten) zu untersuchen. Es sollen die Einflussfaktoren herausgefunden werden, auf die der Nettonutzen besonders empfindlich reagiert. In der Regel werden drei Szenarien, gute, normale und schlechte Entwicklung betrachtet. Die Sensitivitätsanalyse wird mit der Veränderung einer einzigen Variablen durchgeführt. So zeigt die Sensitivitätsanalyse, ob das errechnete Ergebnis einer Nutzen-Kosten-Analyse auch bei veränderten Daten stabil bleibt. Ändert sich das Ergebnis bereits durch eine kleine Variation einer Inputgröße stark, ist die geplante Maßnahme oder das Projekt riskant. Man sollte dann dem Ergebnis aus der Nutzen-Kosten-Analyse nicht trauen. Wie jedes Verfahren, so hat auch die Sensitivitätsanalyse Schwachstellen. Die Betrachtung und Veränderung nur einer Variablen, ceteris paribus, trifft in der Praxis kaum oder fast nie zu. Eventuell sind in einer Sensitivitäts-

---

<sup>22</sup> Definition siehe Box 6. Definition Options-, Existenz- und Vermächtniswert, Kapitel 2.3.2



analyse sehr viele Variationsmöglichkeiten denkbar, was dann aber zu Unübersichtlichkeit führt (BUCKLEY et al. 2000, S. 202 ff.).

Jedoch lassen sich einige Probleme der monetären Bewertung (6. Stufe) in der Nutzen-Kosten-Analyse gerade durch eine Sensitivitätsanalyse mildern. Bspw. die Problematik der Preiskorrekturen, Schattenpreise, kann durch eine systematische Variation der Inputfaktoren und internen Bewertung (Zinssätze, Preise, Laufzeit des Projektes etc.) erheblich entschärft werden.

### 2.3.8 Diskontierung – Stufe 8

Eine weitere Schwierigkeit bei der Durchführung von Nutzen-Kosten-Analysen liegt darin, dass Aufwände und Erträge häufig zu unterschiedlichen Zeiten anfallen. Ist das der Fall, so können die einzelnen Kosten- und Nutzenströme nicht unmittelbar miteinander verglichen werden. Aus diesem Grund berechnet man im Allgemeinen *Gegenwartswerte*, indem die Kosten und Nutzen, die in unterschiedlichen Zeiten anfallen, auf ihr gegenwärtiges Äquivalent *auf- oder abdiskontiert* werden (HACKL und PRUCKNER 2001, S. 85 f.).

*Diskontierung* der erst in der Zukunft anfallenden Nutzen und Kosten auf ihren Gegenwartswert muss also stattfinden, damit die zukünftigen Werte nicht verzerrt in die Rechnung eingehen. Es sollen durch die Harmonisierung die gesellschaftliche Zeitpräferenz und die intragenerationelle Gerechtigkeit zum Ausdruck gebracht werden (SCHOLLES 2001, S. 229). Nutzen und Kosten werden mit einem entsprechenden Kapitalisierungszinsfuß auf einen festzulegenden Bezugszeitpunkt auf- oder abgezinst (HANUSCH 1995, S. 558). Die Ermittlung des Nettogegenwartswertes entspricht dabei exakt der in der betriebswirtschaftlichen Investitionsrechnung gebräuchlichen *Kapitalwertmethode*. Anstelle von Einzahlung und Auszahlungen treten monetär bewertete Nutzen und Kosten (MÜHLENKAMP 1994, S. 171).

Die grundlegende Schwierigkeit der Diskontierung liegt darin, dass der *Zinssatz (Diskontrate)* keine marktgegebene Variable darstellt, denn es muss bei staatlichen Projekten zuerst darüber entschieden werden, welcher Zinssatz zur Anwendung kommen soll (BLANKART 2006, S. 480). Somit stellt der Zinssatz ein starkes Manipulationspotenzial in Nutzen-Kosten-Analysen dar. Von der Höhe des Zinssatzes hängt es ganz wesentlich ab, ob und in welchem Ausmaß sich für ein Projekt ein Nettovorteil errechnen lässt. Von der Höhe des Zinssatzes hängt auch die Rangfolge

der analysierten Projekte ab (ANDEL, 1998, S. 90). Je höher der Diskontsatz, desto schlechter schneiden die Maßnahmen ab, bei denen Nutzenüberschüsse erst relativ spät anfallen (MÜHLENKAMP 1994, S. 173).

### 2.3.9 Gegenüberstellung der Nutzen und Kosten – Stufe 9

Im nun folgenden Arbeitsschritt der Nutzen-Kosten-Analyse werden die Nutzen und Kosten eines Projektes einander gegenübergestellt (BMF 1973, S. 211).

Die Gegenüberstellung der diskontierten Nutzen (Gegenwartswert Nutzen) und Kosten (Gegenwartswert Kosten) liefert somit eine erste Information über die Nutzen-Kosten-Differenz oder das Nutzen-Kosten-Verhältnis einer Maßnahme. Die Nutzen-Kosten-Differenz, genannt der *Nettogegenwartswert* (NGW) oder das *Nutzen-Kosten-Verhältnis*, dienen dabei als Entscheidungskriterien (Wohlfahrtsindikator)<sup>23</sup> für die Vorteilhaftigkeit eines Projekts (HANUSCH 1987, S. 110 f.).

#### 2.3.9.1 Entscheidungskriterien

Ein *positiver Nettogegenwartswert* ( $NGW > 0$ ) stellt eine notwendige Voraussetzung für die Durchführung eines Projektes dar. Andernfalls ist ein Projekt abzulehnen (ANDEL 1998, S. 90).

Ein auf der Gegenwartswertmethode aufbauendes Bewertungskriterium für öffentliche Vorhaben ist die Berechnung des Nutzen-Kosten-Verhältnisses oder auch *Verhältniskriterium* (VK) genannt. Dazu wird der Quotient der Gegenwartswerte von Nutzen und Kosten gebildet. Die Berechnung des Nutzen-Kosten-Verhältnisses liefert immer eindeutige Lösungen im Hinblick auf die Frage, ob ein Projekt realisiert werden soll oder nicht. Eine Maßnahme ist immer dann zu befürworten, wenn das *Nutzen-Kosten-Verhältnis größer als Eins ist* ( $VK > 1$ ) (MÜHLENKAMP 1994, S. 171).

Allerdings reagiert dieses Entscheidungskriterium sensibel auf Saldierungen von Nutzen und Kosten. Das Nutzen-Kosten-Verhältnis kann nach dem Netto- oder Bruttoprinzip abgebildet werden. Das *Bruttoprinzip* betrachtet alle Werte mit positivem Vorzeichen als Nutzen und alle Werte mit negativem Vorzeichen als Kosten.

---

<sup>23</sup> siehe Kapitel 2.1.4.1 Bestimmung des Wohlfahrtsmaßes

*Bruttoprinzip*

$$\frac{\sum \text{Nutzen}}{\sum \text{Investitionskosten} + \sum \text{Betriebskosten}}$$

Das *Nettoprinzip* betrachtet Betriebs- und Unterhaltungskosten als negative Nutzen. Diese Kostenarten werden vom Nutzen abgezogen, bevor durch die Investitionskosten dividiert wird.

*Nettoprinzip*

$$\frac{\sum \text{Nutzen} - \sum \text{Betriebskosten}}{\sum \text{Investitionskosten}}$$

Die Auswahl eines der beiden Prinzipien hat Auswirkungen auf das Ergebnis einer Nutzen-Kosten-Analyse. Das Nettoprinzip verstärkt gute und schlechte Ergebnisse gegenüber dem Bruttoprinzip. Wirtschaftliche Projekte erscheinen dadurch noch wirtschaftlicher, unwirtschaftliche noch unwirtschaftlicher. In der Nähe des ausgeglichenen Nutzen-Kosten-Verhältnisses von eins wirkt sich die Wahl des Prinzips kaum aus (SCHOLLES 2001, S. 226 f.).

**2.3.9.2 Entscheidungsregeln**

Die obengenannten notwendigen Bedingungen  $NGW > 0$  bzw.  $VK > 1$  sind zwar hinsichtlich der Beurteilung einzelner Vorhaben (isolierte Einzelentscheidung) eindeutig. Steht aber für die Realisation mehrerer Projektalternativen nur eine begrenzte Summe (Budgetrestriktion) zur Verfügung, sind diese Bedingungen zur Wahl der geeignetsten Projektalternative nicht mehr ausreichend. Budgetrestriktionen führen dazu, dass sich die Durchführung verschiedener Projektalternativen, zumindest partiell, gegenseitig ausschließt (MÜHLENKAMP 1994, S. 175).

In diesem Fall sollte man zunächst eine Rangfolge der verschiedenen Projekte über das Verhältniskriterium durchführen. So sind die Projekte zur Durchführung so lange zu empfehlen, bis das vorgegebene Budget ausgeschöpft ist. Diese Regel führt dazu, dass mit der gegebenen Budgetsumme der höchste Nettogegenwartswert erreicht wird (HANUSCH 1987, S. 115 f.). Im Falle des gegenseitigen Ausschlusses von Projektalternativen empfiehlt HANUSCH 1987 (S. 119) das Nettogegenwartskriterium ( $NGW > 0$ ) als sicherste und einfachste Entscheidungsregel.

Tabelle 3 fasst die unterschiedlichen Entscheidungskriterien und Regeln nochmals zusammen<sup>24</sup>.

Tabelle 3. Entscheidungskriterien und ihre Entscheidungsregeln

Entscheidungssituation des Projektes	Optimale Methode/Entscheidungskriterium
<b>Isolierte Einzelentscheidung</b>	<b>NGW* &gt; 0</b> und Verhältniskriterium <b>VK* &gt; 1</b>
<b>Budgetrestriktion bei Projektalternativen</b>	Erstellen einer <b>Rangfolge über VK*</b> , Realisierung Projekt X,Y, Z in Rangfolge so lange, bis Budget ausgeschöpft ist, Entscheidung über <b>Budgetsumme mit höchstem NGW</b>
<b>Gegenseitiger Ausschluss von Projekten</b>	<b>NGW &gt; 0</b>

Quelle: Eigene Erstellung<sup>25</sup>

\* NGW – Nettogegenwartswert, VK – Verhältniskriterium

### 2.3.10 Beschreibung der Intangibles – Stufe 10

In dieser Stufe der Nutzen-Kosten-Analyse erfolgt das verbale Beschreiben der nicht quantifizierten Nutzen und Kosten, der Intangibles (BMF 1973, S. 212).

Alle Wirkungen, die sich bis dahin nicht monetär bewerten ließen, sind intangibel, d. h. sie können also nicht in die Berechnung des Nettogegenwartswertes oder des Verhältniskriteriums mit einfließen. Sie können nur nachrichtlich in die Abwägung eingestellt werden (SCHOLLES 2001, S. 227). Somit enthält eine Nutzen-Kosten-Analyse eine gesonderte Darstellung der nicht monetarisierbaren Projektwirkungen (BMF 1973, S. 212).

### 2.3.11 Gesamtbeurteilung und Entscheidung – Stufe 11

Die Gesamtbeurteilung und Entscheidung erfolgt in der letzten Stufe der Nutzen-Kosten-Analyse für diejenige Alternative mit dem besten Nettogegenwartswert oder Nutzen-Kosten-Verhältnis unter nachrichtlicher Einbeziehung intangibler Wirkungen (HANUSCH 1995, S. 558).

<sup>24</sup> Einzelheiten zu Entscheidungskriterien, -regeln und -situationen einer Nutzen-Kosten-Analyse sind in der Literatur bspw. bei Literatur unter Fußnote 12 nachzulesen.

<sup>25</sup> nach HANUSCH 1987, S. 110 ff.; MÜHLENKAMP 1994, S. 170 ff.; ANDEL 1998, S. 90 f.

Da es sehr schwierig ist, die Probleme bei der Bewertung in Bezug auf *Risiko und Unsicherheit* tatsächlich gut und genügend im Verlauf der Nutzen-Kosten-Analyse zu berücksichtigen, sollte im Allgemeinen in dieser letzten Phase des Projektvergleichs nochmals gesondert auf die Bedeutung von Risiko und Unsicherheit eingegangen werden (ANDEL 1977, S. 518)<sup>26</sup>.

## 2.4 Grenzen einer Nutzen-Kosten-Analyse: eine Zusammenfassung

Nutzen-Kosten-Analysen sind eine mittlerweile international etablierte Methode zu einer systematischen Bewertung von Maßnahmen. Neben dem enormen Vorteil der Nutzen-Kosten-Analyse, nämlich der Berücksichtigung von Nutzen **und** Kosten in einer Bewertungsmethode und der einfachen Vergleichbarmachung der Nutzen und Kosten (intern und extern) durch deren Monetarisierung, sind bei der Nutzen-Kosten-Analyse eine Reihe von problematischen Aspekten zu berücksichtigen. Diese zeigen ganz klar die Grenzen auf, an die die Nutzen-Kosten-Analyse stößt, wie aber auch jede andere Methode ihre Grenzen hat.

Die theoretischen Ziel- und Zweckvorstellungen der Nutzen-Kosten-Analyse, nämlich die Nutzen und Kosten einer Maßnahme umfassend zu ermitteln, nach dem Kriterium der marginalen Zahlungsbereitschaft zu bewerten und zu eindeutigen Aussagen über die Vorteilhaftigkeit zu gelangen, sind in der Praxis nur schwer zu erreichen. Eine Vielzahl von Problemen erschwert das (ANDEL 1998, S. 91).

### *Auswahl der relevanten Projektwirkungen*

In den ersten Schritten der Nutzen-Kosten-Analyse, der Voranalyse, werden wichtige Entscheidungen getroffen. Da Entscheidungen der Voranalyse der Nutzen-Kosten-Analyse eindeutig politischer Natur sind, können sie das Ergebnis einer Nutzen-Kosten-Analyse beträchtlich beeinflussen, d. h. bereits zu Beginn einer Nutzen-Kosten-Analyse besteht Manipulationspotenzial (SCHOLLES 2001, S. 227).

Die konkrete Festlegung des Zielsystems mit seinen Nebenbedingungen und des Entscheidungsspielraumes sind deshalb so wichtig, da schon die Auswahl der möglichen Auswirkungen, auf die das Projekt untersucht werden soll, maßgeblichen Einfluss auf das Ergebnis haben kann. Bleiben wesentliche Kosten- oder Nutzenarten unbe-

---

<sup>26</sup> Einzelheiten dazu siehe auch bei HANUSCH 1987, S. 123 ff.

rücksichtigt, so kann es im schlimmsten Falle zu Fehlentscheidungen bei der Projektauswahl kommen.

Ein zusätzlich ungenau definiertes Zielsystem birgt die Gefahr, dass Nutzen-Kosten-Analysen auch in einem Kontext verwendet werden, auf die sie eigentlich nicht zugeschnitten sind und dadurch fehlinterpretiert werden können.

#### *Monetäre Bewertung von Umweltwirkungen, Schattenpreise*

Monetär nicht direkt ausdrückbar sind die meisten sozialen und ökologischen Auswirkungen. Ein großes Problem stellt dabei die monetäre Bewertung von bspw. biologischer Vielfalt, von Naturverbrauch oder Ökosystemen dar. Was kostet der Erhalt der Feldlerche in der Kulturlandschaft, die es in der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming zu bewerten gilt (siehe Kapitel 3.4.2 Quantifizierung der Projektwirkungen). Da es aber keinen Markt für öffentliche Güter wie wildlebende Arten gibt, existiert für die Feldlerche also auch kein Marktpreis.

Mittels verschiedener Bewertungsmethoden (siehe Kapitel 2.3.6) versucht man sich mit Näherungslösungen zu behelfen. Zur Bewertung der indirekten Wirkungen in einem Projekt kommen aber oft unterschiedliche Methoden zum Einsatz. Man kann bspw. mit der Vermeidungskostenmethode nicht alle indirekten Wirkungen erfassen. Die unterschiedlichen Methoden erzeugen unterschiedliche Werte für denselben Sachverhalt, so dass die Vergleichbarkeit der ermittelten Werte im Grunde dann doch wieder fraglich ist (SCHOLLES 2001, S. 227 f.).

So muss man schließlich noch neben der mangelnden Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Bewertungsmethoden, die in einer Nutzen-Kosten-Analyse zum Tragen kommen, eine begründete methodische Schwäche dieser Bewertungsverfahren ansprechen. Demnach besitzt bspw. die Zahlungsbereitschaftsanalyse (CVM) eine Vielzahl von Schwächen (biases). Die Befragten können zum einen über unzureichende Informationen verfügen. Sie können aber auch durch Fragen und durch die zur Verfügung gestellte Information derart manipuliert werden, dass sie angesichts der hypothetischen Befragungssituation nicht realitätsgetreu antworten.

#### *Aggregation der Umweltwirkungen*

Schließlich kann eine einfache Aufaddierung von monetären Größen für die Umweltwirkungen bei der Gegenüberstellung der Nutzen und Kosten zu einer buchhalterischen Verrechnung von Wirkungen führen, obwohl sich die Wirkungen in der Na-

tur bspw. nicht ausgleichen. Sie wirken ganz verschiedenartig, in komplexen Wirkzusammenhängen, was in der Bewertung der Nutzen und Kosten von Umweltwirkungen auch berücksichtigt sein sollte.

### *Intangibles*

In der Nutzen-Kosten-Analyse wird angestrebt, möglichst alle auftretenden Wirkungen in monetären Äquivalenten zu erfassen. So gibt es aber auch eine Vielzahl von Wirkungen, die sich nicht in Geldeinheiten ausdrücken lassen. Dies trifft für die meisten sozialen Wirkungen zu, aber auch bei weitem nicht alle Umweltwirkungen sind monetär bewertbar (MESSNER 2000, S. 16) und bleiben somit zwar nachrichtlich erwähnt, im Nettonutzen der Nutzen-Kosten-Analyse aber unberücksichtigt.

### *Diskontierung*

Das grundlegende Problem des Arbeitsabschnittes der Diskontierung in der Nutzen-Kosten-Analyse liegt in der Bestimmung des angemessenen Zinssatzes (Diskontrate). Meist wird der langfristige Zinssatz am Kapitalmarkt zugrundegelegt (HANUSCH und KUHN 1995, S. 558). Der Zinssatz stellt aber ein starkes Manipulationspotenzial in Nutzen-Kosten-Analysen bereit. Einmal kann eine Prognose der Zinssätze über längere Zeiträume mit vielen Unsicherheiten behaftet sein. Dann ist auch der Einfluss des Zinssatzes umso größer, je weiter Kosten und Nutzen zeitlich auseinander liegen (SCHOLLES 2001, S. 229). Die Wahl der geeigneten Diskontierungsrate stellt vor allem Projekte mit langer Lebensdauer vor ein Problem. In der Wahl eines bestimmten Zinsfußes kann eine Diskriminierung zukünftiger Generationen erfolgen. Die Interessen der zukünftigen Generationen, die eine intakte Natur als Lebens- und Wirtschaftsgrundlage benötigen, werden außer Acht gelassen. Vielmehr werden die Nutzen und Kosten mit Bezug auf heute lebende Menschen diskontiert, wodurch der Nettonutzen der Zukunft systematisch unterschätzt wird (MESSNER 2000, S. 16).

### *Netto-/Bruttonutzen*

Die Auswahl eines Prinzips bei der Gegenüberstellung der Nutzen und Kosten eines Projektes hat ebenfalls Auswirkungen auf das Ergebnis: Das Nettoprinzip verstärkt gute und schlechte Ergebnisse gegenüber dem Bruttoprinzip. Die Wahl des Prinzips (brutto/netto) hat aber keinen Einfluss auf die Reihung von Alternativen bei der Bewertung oder darauf, ob eine Alternative als wirtschaftlich oder nicht betrachtet wird, es sei denn, das Verhältniskriterium allein wird als absolutes Effizienzkriterium angesehen (SCHOLLES 2001, S. 226 f.).

### *Akzeptanz ökonomischer Bewertung*

Neben den oben beschriebenen rein methodischen Problemen der Nutzen-Kosten-Analyse werden die Analysen dadurch erschwert, dass die Akzeptanz der Anwendung ökonomischer Kriterien auf so sensible Bereiche wie die Messung der Natur in monetären Einheiten umstritten ist. Trotz der Einwände, die der „Ökonomisierung“ umweltrelevanter Fragestellungen entgegengebracht werden, zwingen Budgetbeschränkungen und Ressourcenknappheit dazu, über die wirtschaftspolitische Mittelverwendung auf der Grundlage von Nutzen-Kostenkalkülen zu entscheiden. In diesem Sinne sollte auch der Umweltbereich keine Ausnahme darstellen. Selbst wenn eine exakte Festlegung von Zahlenwerten nur in den wenigsten Fällen ohne Probleme möglich ist, kann daraus nicht geschlossen werden, von einer monetären Bewertung umweltpolitischer Maßnahmen abzusehen (BARTEL und HACKL 2001, S. 99).

### **2.5 Schlussfolgerungen: Behandlung der methodischen Grenzen in der volkswirtschaftlichen Analyse des Precision Farming**

So ist nun trotz der oben diskutierten methodischen Schwierigkeiten der Nutzen-Kosten-Analyse (NKA) und in Anbetracht dessen, dass andere Untersuchungsmethoden (Kostenwirksamkeit oder Nutzwertanalyse) für eine gesamtwirtschaftliche Betrachtung der Auswirkungen von Precision Farming noch weniger zuverlässige Lösungen anbieten können, die Nutzen-Kosten-Analyse als grundlegende methodische Vorgehensweise im Rahmen der *volkswirtschaftlichen Analyse des Precision Farming* verwendet worden.

Nutzen-Kosten-Analysen sind zwar zu einer international etablierten Methode herangewachsen, mittlerweile aber „unmodern“ und auch nur selten umweltpolitisch in Deutschland angewendet. Dies teilweise sicherlich auch, weil die im Gefolge der „Erläuterungen zur Durchführung von Nutzen-Kosten-Analyse“ des BMF (1973) von Planungsbüros mit sehr viel Geld erstellten Nutzen-Kosten-Analysen von relativ schlechter Qualität sind (MÜLLER 2008)<sup>27</sup>.

Die Nutzen-Kosten-Analyse hat aber auch Vorteile: Kern einer jeden Nutzen-Kosten-Analyse ist die monetäre Bewertung aller real auftretenden Wirkungen einer Maßnahme oder eines Projektes. Nutzen und Kosten müssen identifiziert, bewertet

---

<sup>27</sup> Große Euphorie bzgl. der Anwendung der Nutzen-Kosten-Analyse herrschte in den 1960er- bis 90er-Jahren in der Entwicklungshilfe (MÜLLER 2008).



und schließlich einander gleichwertig gegenübergestellt werden. Diese Vorgehensweise ist relativ einfach, leicht verständlich und nachvollziehbar. So werden der Weg zum Entscheidungsprozess und damit die Entscheidung innerhalb der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming transparent gemacht.

Der große Vorteil der Nutzen-Kosten-Analyse dabei ist, dass sie auf einem einfachen monetären Vergleichsmaßstab basiert. Geld stellt einen eingängigen Vergleichsmaßstab bei mehrdimensionalen Zielsystemen dar. Er ist besser vermittelbar als abstrakte, dimensionslose Zahlen und leichter überschaubar als mehrseitige Argumentationen. Die Transparenz und Verständlichkeit der Bewertungsergebnisse einer Nutzen-Kosten-Analyse wird dadurch enorm erhöht. Daher gibt es auch immer wieder Versuche, intangible Wirkungen durch angemessene Monetarisierung darzustellen.

Manche methodischen Probleme der Nutzen-Kosten-Analyse, wie bspw. das der angemessenen Schattenpreise oder der ökonomischen Umweltbewertung, lassen sich durch eine Sensitivitätsanalyse mildern. Dabei werden in der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming systematisch Wirkungsannahmen, also Einflussfaktoren und interne Bewertungen variiert (Preise und Kosten) und die Auswirkung derer auf das Ergebnis geprüft. Durch solche Sensitivitätsanalysen können strukturelle Wirkungen sichtbar gemacht werden. In der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming erfolgt die Prüfung der Sensitivität des Systems in drei Varianten, nämlich bei einer normalen, guten und schlechten Entwicklung der Produktpreise und der Kosten für den Einsatz der Precision-Farming-Technologie (siehe Kapitel 3.4.3).

Anderen methodischen Schwierigkeiten, wie der Auswahl der relevanten Projektwirkungen, kann für den Fall der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming entgegengebracht werden, dass das Zielsystem schon sehr genau durch den Forschungsauftrag vorgegeben war. So handelt es sich hier um eine isolierte Einzelentscheidung, die die volkswirtschaftlichen Vorteile/Nachteile eines Landbaus mit Precision Farming im Vergleich zu konventionellem Landbau (Vergleich mit-ohne PF) untersucht und darstellt.

Hauptziel der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming ist es dabei, die Wirkungen (positiv und negativ), die von einem Einsatz der Precision-Farming-Technologie im Landbau ausgehen, transparent und übersichtlich darzustellen. Den direkten ökonomischen Wirkungen werden die indirekten Umweltwirkungen mittels des monetären Vergleichsmaßstabs gegenübergestellt. So wird bspw. ersichtlich,

woraus sich der Nettonutzen des Precision Farming tatsächlich zusammensetzt, ob allein aus betriebswirtschaftlichen Wirkungen oder aus der Vielzahl der ökologischen Wirkungen, die mehr oder weniger ins Gewicht fallen (genauerer siehe Kapitel 3.4.1 und 3.4.2). Auch die Tatsache, dass unabhängige Analytiker in den verschiedenen Teilprojekten des pre-agro-II-Projektes mit ihrem Wissen und ihrer Expertise zur Nutzen-Kosten-Analyse herangezogen wurden, soll Sicherheit und Vertrauen in die erstellte Nutzen-Kosten-Analyse bringen. Die detaillierte, transparente und unabhängige Erstellung der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming wirkt somit entgegen unterschieden methodischen Manipulationsmöglichkeiten entgegen.

Aufbauend auf ausführlich dargestellten Expertisen und der Herangehensweise bei der Auswahl der verwendeten Methoden zur Umweltbewertung, soll der problematischen Aggregation der Umweltwirkungen bei der Gegenüberstellung der Nutzen und Kosten des Precision Farming genügend Beachtung gewidmet sein.

Alle Wirkungen eines Projektes monetär bewerten zu wollen, war für das Precision-Farming-Projekt nicht komplett zu überwinden. Die Nutzen-Kosten-Analyse versucht hier dieses Problem abzumildern, indem sie ihr Hauptaugenmerk auf eine möglichst vollständige monetäre Bewertung der ökologischen Wirkungen ausrichtet, die von Precision Farming ausgehen. Die Berücksichtigung bspw. auch der sozialen Wirkungen hätte den Rahmen dieser Arbeit eindeutig gesprengt. So fließen alle Intangibles in nachrichtlicher Form in die Bewertung der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming ein.

Die Problematik des relevanten Zinsfußes bei der Diskontierung innerhalb einer Nutzen-Kosten-Analyse stellt für das Precision-Farming-Projekt keine Schwierigkeit dar. Sie ist vielmehr irrelevant, da einerseits die Projektwirkungen mit vernachlässigbarer zeitlicher Verzögerung eintreten (also sofort) und andererseits kaum nennenswerte Investitionskosten/ha bspw. für eine Technikanschaffung anfallen.

Um ein sicheres und aussagefähiges Ergebnis der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming zu liefern, wird zur Entscheidung über die Effizienz des Projektes an erster Stelle der Nettonutzen herangezogen. Nur zum Vergleich wird das Verhältnis-kriterium ebenfalls errechnet und aufgeführt. Dieses wird hier über das vorsichtigere Bruttoprinzip errechnet. Es dient aber nicht als absoluter Maßstab für die Bewertung der Effizienz des Precision-Farming-Projektes, was zu Bewertungsproblemen führen könnte.

So sollte die Erstellung und Interpretation von Nutzen-Kosten-Analysen sehr vorsichtig erfolgen. Man sollte deren Ergebnisse keinesfalls absolut sehen, sondern vielmehr als Prognose, als Tendenz in welche Richtung die Durchführung einer Maßnahme oder eines Projektes weisen könnte. Dies gilt auch für die in Kapitel 3 folgende Fallstudie der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming. Aufgrund der Annahmen und modellmäßigen Überlegungen, die an manchen Stellen angestellt werden **mussten**<sup>28</sup>, bietet auch die vorliegende Analyse sicherlich Angriffspunkte. Dies ist der Autorin dieser Arbeit wohl bekannt und wird in den einzelnen Kapiteln entsprechend diskutiert.

Deshalb ist beim Erstellen der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming (Fallstudie „Wulfen“) der Rat von SCHOLLES (2001, S. 230) beachtet worden: Man solle die Nutzen-Kosten-Analyse vor allem für den Zweck nutzen, für den sie erfunden worden ist: *für die ökonomische Bewertung*.

Denn bei fach- und sachgemäßer Anwendung der Nutzen-Kosten-Analyse mit dem Wissen über den richtigen Anwendungsbereich und deren „Schwachstellen“ kann diese Evaluierungstechnik trotz aller methodischer Probleme eine solide Bewertung einer Maßnahme oder eines Projektes abliefern, wie bspw. in Kapitel 3 dieser Arbeit die „Nutzen-Kosten-Analyse eines schlagspezifischen Einsatzes von Precision Farming am Beispiel der Wulfen-Studie“. So kann auch die Bewertung von Umweltwirkungen innerhalb dieser Nutzen-Kosten-Analyse durchaus zu einem relativ gesicherten und nachvollziehbaren Ergebnis führen, das wiederum die Grundlage für Empfehlungen zu Entscheidungen auf der Politikebene darstellt.

---

<sup>28</sup> aufgrund begrenzter Kapazitäten

### **3. Nutzen-Kosten-Analyse eines schlagspezifischen Einsatzes von Precision Farming in der Landwirtschaft in Deutschland am Beispiel der „Wulfen-Studie“**

Die Technologie des Precision Farming ist heutzutage aus der landwirtschaftlichen Praxis nicht mehr wegzudenken. Dabei findet sie nicht zuletzt zunehmend Einzug durch äußere Einflüsse, wie bspw. steigende Rohstoffpreise, zunehmende Notwendigkeit präziser Dokumentation der durchgeführten landwirtschaftlichen Arbeiten, neue Herausforderungen an die Landnutzung durch den globalen Klimawandel und Verknappung der Ressourcen.

Dabei wird immer deutlicher, dass in der Pflanzenproduktion Precision Farming nicht nur eine Technik ist, sondern eine Vielfalt von Pfaden und Optionen in der Analyse, Entscheidungsfindung und Gestaltung pflanzenbaulicher Maßnahmen darstellt, die für verschiedenste Betriebsstrukturen geeignete Lösungen bietet (WERNER et al. 2008, S. 34).

In Kapitel 1.1 dieser Arbeit ist bereits auf die wichtigsten Aspekte des Precision Farming eingegangen worden. Hier soll nun zu Beginn der Darstellung der Nutzen-Kosten-Analyse der exemplarischen „Wulfen-Studie“ eine kurze Einführung in die verschiedenen Optionen der Analyse, die verschiedenen Funktions- und Verfahrenswesen des Precision Farming gegeben werden. Dieser Einblick in die PF-Technologie ist von enormer Wichtigkeit, bildet er doch die Grundlage für Identifizierung und Bewertung der Wirkungen und Auswirkungen des Precision Farming, die in der Wulfen-Studie untersucht werden.

Zunächst aber folgt die Darstellung der verwendeten Methodik, der methodischen Elemente und deren Verknüpfung mit einem schematischen Projektplan für die Nutzen-Kosten-Analyse eines schlagspezifischen Einsatzes von Precision Farming in Deutschland am Beispiel der „Wulfen-Studie“.

#### **3.1 Methoden und Datengrundlage**

Für die volkswirtschaftliche Analyse des Precision Farming ist bereits die Nutzen-Kosten-Analyse als geeignete Methode ausgewählt worden. In Anlehnung an die in Deutschland offiziellen „Erläuterungen zur Durchführung von Nutzen-Kosten-Untersuchungen“ (BMF 1973) und der 2007 veröffentlichten „Methodenkonvention zur Schätzung externer Umweltkosten“ des Umweltbundesamtes orientiert sich die

Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming an dem bereits vorgestellten 11-Stufen-Verfahrensmuster<sup>29</sup>.

So wird zu Beginn eine kurze Beschreibung der Projektaufgabe, des Projektziels sowie des Zielsystems mit seinen relevanten Nebenbedingungen und Projektalternativen gegeben.

Danach sind auf Grundlage eingehender Literaturrecherche sowie bi- und multilateraler Gespräche und Diskussionen mit Verbundpartnern des pre-agro-II-Projektes qualitative Aussagen bzgl. der Wirkungen des Precision Farming im Vergleich zu flächeneinheitlicher Bewirtschaftung getroffen worden. Ein „Pool“ an möglichen positiven und negativen Wirkungen, die von einer flächenweiten Einführung von Precision Farming in Deutschland ausgehen können, ist aufgestellt worden.

In einem nächsten Schritt sind am konkreten Beispiel der Fallstudie „Wulfen“ (Region Köthen, Sachsen-Anhalt) in den Jahren 2005 bis 2007 die identifizierten Wirkungen nach Möglichkeit mit einem monetären Wert versehen worden. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf die indirekten Umweltwirkungen gelegt.

Gegenstand der Untersuchung der Fallstudie „Wulfen“ sind Getreideschläge des Versuchsbetriebes „WIMEX“ des Verbundprojektes, gelegen im Landkreis Köthen in Sachsen-Anhalt, in einer Randlage des Magdeburg-Halleschen Schwarzerdegebietes (siehe Abbildung 4).

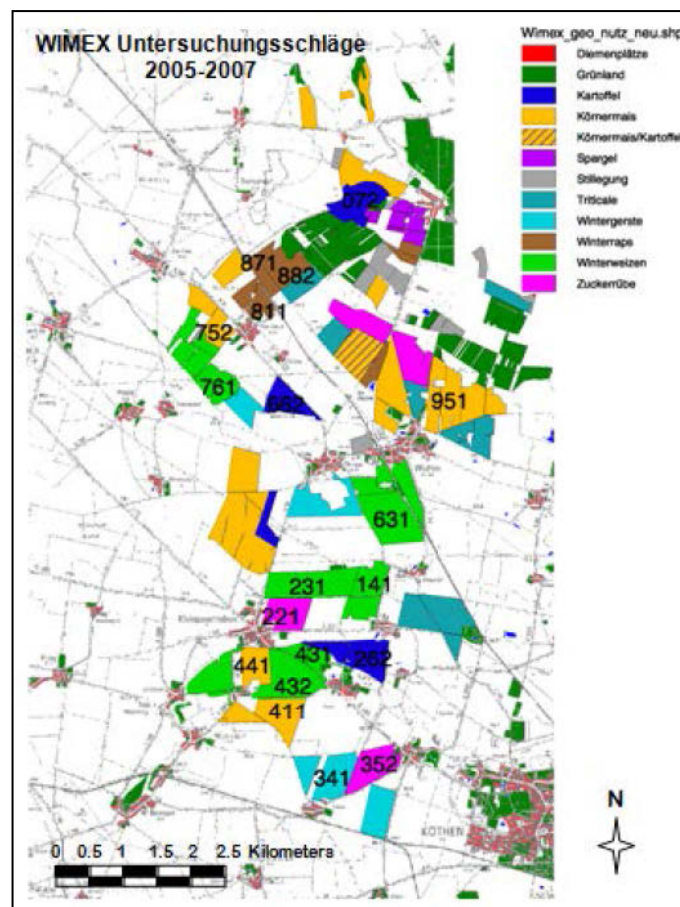
Es handelt sich hierbei um ein großes Agrarunternehmen (Ackerbaubetrieb mit Futtererzeugung für ca. 900.000 Legehennen), das über eine LN von 6.045 ha, davon ca. 5.000 ha AF, verfügt. Allgemein ist diese Region durch große Agrarbetriebe mit einer Flächenausstattung von nicht selten über 1.000 ha geprägt. Bewirtschaftet werden große Schlägeinheiten mit einer Bodenqualität von 80 bis 100 Bodenpunkten. In dieser Region sind Lößauflagen von einer Mächtigkeit bis maximal 100 cm anzutreffen, darunter folgt Kies. Die Lößauflageschicht ist aufgrund ihres Wasserspeichervermögens entscheidend für das Ertragspotenzial verantwortlich. Die Region gehört mit durchschnittlich 440 mm Niederschlag zum Mitteldeutschen Trockengebiet. In der Vegetationsperiode ist die klimatische Wasserbilanz negativ. So kann die Bodenwasserspeicherfähigkeit und Bodenwasserverfügbarkeit zum limitierenden Faktor

---

<sup>29</sup> siehe Kapitel 2.3

für die Ertragsbildung bei Kulturpflanzen werden. Dieser Betrieb verfügt über langjährige Erfahrungen beim Einsatz von Precision-Farming-Technologien im Pflanzenbau. Die Feldgröße der Versuchsschläge liegt zwischen 40 und 120 ha. Die Applikationstechnik hat dabei eine Arbeitsbreite von 24 und 36 Metern. Die direkten Wirkungen wurden in enger Kooperation mit Teilprojekt 3 „Wirtschaftlichkeit“ des Verbundprojektes pre agro II quantifiziert.

Abbildung 4. Untersuchungsschläge des WIMEX-Praxisbetriebes in Wulfen, Sachsen-Anhalt



Quelle: Eigene Erstellung nach Karten aus Projektdatenbank PREMIS (2006) des Verbundprojektes pre agro II

Zur Berechnung der direkten Nutzen und Kosten der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming wurde auf die von Teilprojekt 3 gelieferten Daten und Berechnungen zurückgegriffen<sup>30</sup>. Für die indirekten Umweltwirkungen wurden monetäre Äquivalente über Näherungslösungen gefunden, die den Methoden zur ökonomischen Umweltbewertung entstammen. Hierbei ist einem Ansatz nach WRONKA (1998, S. 18 ff.) gefolgt worden. In einem ersten Schritt erfolgt eine naturschutzfachliche Bewertung von Umweltgütern auf der Basis von Experteneinschätzungen (in Kooperation mit Teilprojekt 4 „Naturschutz“ in pre agro II). So ermöglichen Naturschutz-Experten, die ihrerseits Feldversuche in Wulfen angestellt haben, eine leistungsorientierte Zuweisung von Zahlungen und liefern die Voraussetzung für Plausibilität und Verständlichkeit des hypothetischen Marktes der Umweltgüter. Im zweiten Schritt kommen Lösungen der Bewertungsmethoden der Umweltökonomie zum Zuge, da davon ausgegangen wird, dass auch die Einschätzung der Gesellschaft (Individuen) und nicht einiger weniger Experten, die Grundlage der monetären Bewertung der Umweltwirkungen des Precision Farming sein soll. Die Zahlungsbereitschaftsanalyse, die CVM<sup>31</sup>, stellt sich dabei als geeignetes monetäres Bewertungsverfahren heraus, da sie eine Verbindung zwischen der Expertenbewertung durch objektive Informationsvermittlung und der Wertschätzung von Individuen einer Gesellschaft für ein Umweltgut herstellen kann (WRONKA 1998, S. 20).

Aufgrund beschränkter Kapazitäten innerhalb des pre-agro-II-Projektes konnten zur monetären Wertschätzung der durch Precision Farming verursachten Umweltwirkungen keine eigenen CVM-Befragungen, d. h. keine eigenen Zahlungsbereitschaftsanalysen durchgeführt werden. Um jedoch nicht gänzlich auf eine monetäre Bewertung der Umweltwirkungen des Precision Farming zu verzichten, wurde letztlich auf die Methode des *Benefit Transfer* zurückgegriffen<sup>32</sup>. Dabei sind den einzelnen indirekten Umweltwirkungen des Precision Farming monetäre Werte möglichst ähnli-

---

<sup>30</sup> Die Bearbeitung des Teilprojektes zur Erstellung der Nutzen-Kosten-Analyse (TP5) war mit sehr geringen Kapazitäten ausgestattet (eine Bearbeiterin, halbe Stelle) und somit so konzipiert, dass andere Teilprojekte (bspw. TP3: Wirtschaftlichkeit-direkte Wirkungen, TP4: Naturschutz-Umweltbewertung) einige zur Erstellung der NKA erforderlichen Daten direkt geliefert oder in enger Kooperation mit TP5 erarbeitet haben. Somit basiert die NKA des PF zu einem großen Teil auf Daten, die von Projektpartnern im pre-agro-II-Projekt erarbeitet wurden.

<sup>31</sup> CVM: Contingent valuation method, Präferenzzeruierung durch Befragung (stated preferences), Zahlungsbereitschaftsanalyse, siehe auch Kapitel 2.3 Bewertung der Projektwirkungen, *Bewertungsmethoden*

<sup>32</sup> siehe dazu Literatur bei WILSON und HOEHN 2006, THIELE und WRONKA 2001, MUTHKE 2001

cher, aktueller und qualitativ hochwertiger (gut durchgeführter und fehlerfreier) Studien aus der Literatur zugeordnet worden.

Im Falle des Precision Farming erfolgt die naturschutzfachliche Expertenbewertung oder besser Expertise über eine „Nutzwertanalyse“ (Zielerreichungsgrade) der Naturschutzqualitätsziele des Precision Farming. Den einzelnen Umweltwirkungen, die von Precision Farming ausgehen, im Vergleich zu konventioneller Bewirtschaftung, werden Zielerreichungsgrade (Nutzwerte) beigemessen (von den Naturschutzexperten). Anhand dieser Zielerreichungsgrade (ZEG) wird dann entschieden, ob eine Umweltwirkung als positiv/negativ von Precision Farming beeinflusst eingestuft werden kann oder nicht. Der aus dieser Expertise hervorgehende Mehrwert des Precision Farming ( $\Delta \text{ZEG} = \text{Differenz ZEG „Mit PF“ und „ohne PF“}$ ) geht dann als Gewichtungsfaktor in die monetäre Bewertung der Umweltwirkungen ein. Die monetäre Bewertung erfolgt somit über einen „angepassten Transfer“ (adjusted benefit transfer) monetärer Werte aus Literatur-Studien (ähnlicher/gleicher Wirkungen), hauptsächlich über Zahlungsbereitschafts-(CVM)-Studien<sup>33</sup>. Da vermieden werden sollte, dass zur Berechnung des indirekten Nettonutzens (der Umweltwirkungen) unterschiedliche Bewertungsansätze zum Tragen kommen, erfolgt die letztliche monetäre Bewertung der Umweltwirkungen in vier Bewertungsstufen, den Stufen I–IV, um ein gewisses Maß an Zuverlässigkeit der Ergebnisse zu gewähren.

Das „methodisch sichere und sauberste“ Ergebnis wird über die Bewertungsstufe I abgebildet. Hier werden nur diejenigen Umweltwirkungen in die letztendliche Berechnung des Nettonutzens mit einbezogen, für die möglichst aktuelle, korrekt durchgeführte und auf das zu bewertende Umweltgut im PF-Projekt genau passende CVM-Studien (nur CVM!) in der Literatur gefunden wurden. Auf diese Weise war aber nur ein geringer Teil der Umweltwirkungen, die durch Precision Farming verursacht werden, zu bewerten. Um dennoch möglichst alle Umweltwirkungen mit einem monetären Wert zu versehen, wurde die Bewertungsstufe I um 3 weitere Bewertungsstufen mit jeweils steigendem „Unsicherheitsfaktor“ erweitert. So bewertet Stufe II zusätzlich die Wirkungen, für die in älteren CVM-Studien entsprechende ökonomische Werte gefunden werden konnten. Stufe III und IV berücksichtigt dann noch diejenigen Umweltwirkungen, für die über Prämienzahlungen von Agrarum-

---

<sup>33</sup> Genauer zum Benefit Transfer und zur Anwendung der Methode für den Fall des Precision Farming findet sich unter Kapitel 3.4.2 Quantifizierung der Projektwirkungen, *indirekte Bewertung*



weltmaßnahmen monetäre Äquivalente gefunden werden konnten. Somit stellt Bewertungsstufe I der monetarisierten Umweltwirkungen des Precision Farming die sichere Ebene dar, den Minimum-Wert, welcher mit Sicherheit eine Unterschätzung darstellt. Bewertungsstufe IV bildet dahingegen einen durchaus realistischen Maximum-Wert der im Precision Farming identifizierten Umweltwirkungen ab, allerdings mit der größten Unsicherheit. Dies wird hauptsächlich durch den Methodenmix CVM und Tarife aus AUM verursacht.

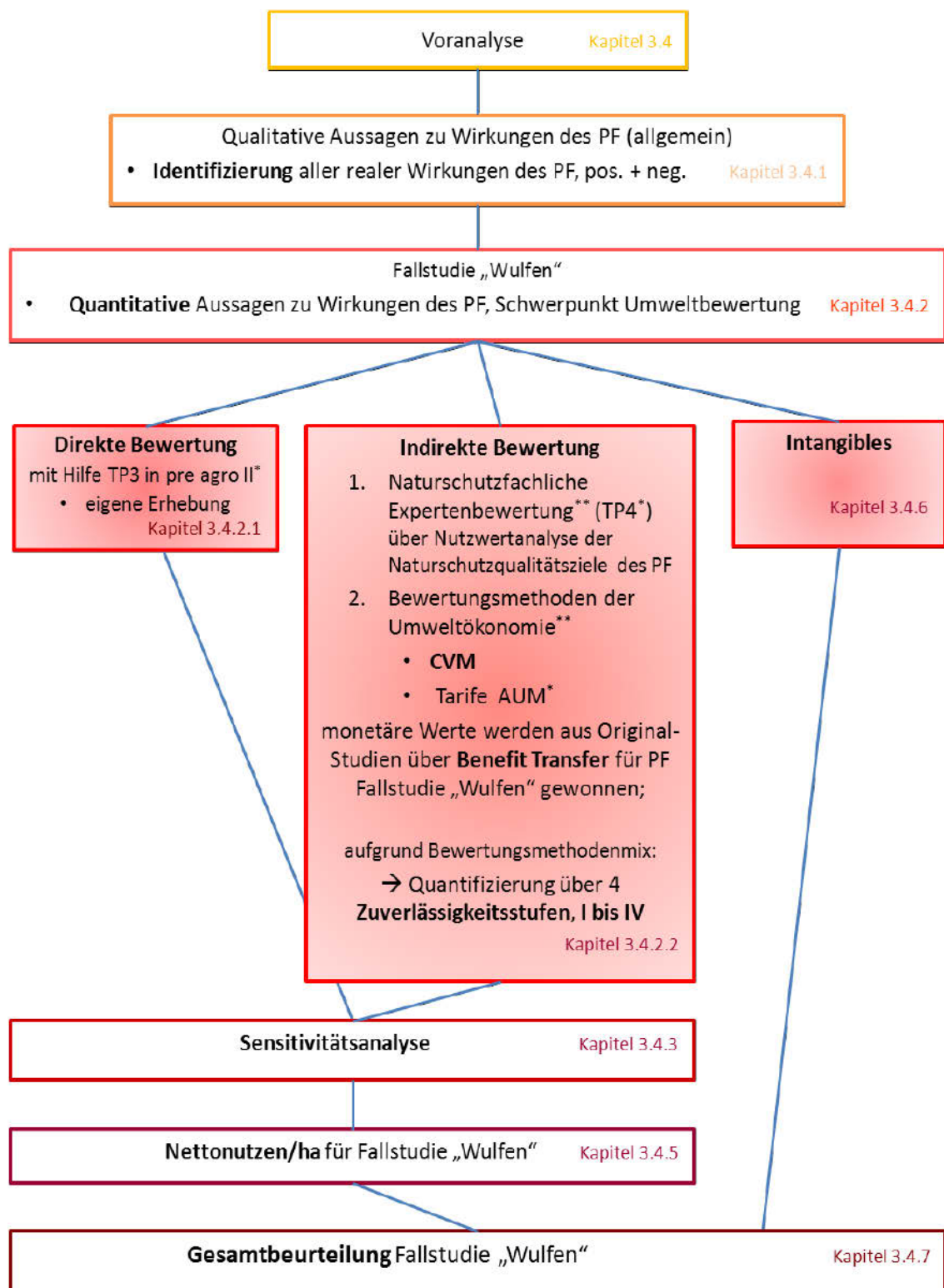
Nach Prüfen der Sensitivität der bewerteten direkten und indirekten Wirkungen (Nettonutzen/ha direkt und Nettonutzen/ha indirekt I–IV), die in der Wulfen-Studie von Precision Farming ausgehen, konnte der Nettonutzen/ha (Min-Max) für die Fallstudie Wulfen errechnet werden. Eine Diskontierung, die zeitliche Homogenisierung der Wirkungen ist dabei irrelevant. Im Precision-Farming-Projekt sind die Laufzeit sowie die Investitionskosten volkswirtschaftlich betrachtet sehr gering (siehe Kapitel 2.3).

Unter Berücksichtigung der Intangibles (alle Wirkungen, des Precision Farming, die nicht quantifiziert werden konnten) in nachrichtlicher (rein verbaler) Form wird abschließend eine Gesamtbeurteilung der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming für die Wulfen-Studie vorgenommen.

Zum besseren Verständnis sei an dieser Stelle das methodische Vorgehen der Fallstudie „Wulfen“ nachrichtlich und grafisch zusammengefasst, siehe Abbildung 5:

Kernstück der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming der Fallstudie „Wulfen“ ist die Verschränkung einer Nutzen-Kosten-Analyse mit einem Experten-Urteilsschema, einer Nutzwertanalyse. Dabei werden die Ergebnisse einer CVM-Studie, die hier im Sinne des Benefit Transfer herangezogen werden, mit Zielerreichungsgraden der Experten gewichtet. Dazu werden wie „Zwiebelschalen“ Zuverlässigkeitsstufen gebildet, womit das Ergebnis der Studie besonders für den, der in vorsichtiger Weise nur das Zuverlässigste gelten lässt, an Stabilität gewinnt.

Abbildung 5. Methodisches Schema der NKA des PF der Fallstudie „Wulfen“



\*TP3: Teilprojekt 3 (Wirtschaftlichkeit), TP4: Teilprojekt 4 (Naturschutz), AUM: Agrarumweltmaßnahme

\*\*nach Wronka 1998

### 3.2 Verfahren und Ansätze des Precision Farming

Die Ortsbestimmung mit Hilfe des Globalen Positionierungssystems (GPS) ist eine der wichtigsten technischen Komponenten beim Precision Farming. Das heute genutzte amerikanische GPS-System (NAVSTAR) besteht aus mehr als 24 Satelliten. Sie umkreisen auf sechs Umlaufbahnen in etwa 20.000 km Höhe im 12-Stunden-Takt die Erde und senden dabei kontinuierlich Signale aus. Mit einem kleinen GPS-Empfänger lässt sich damit auf jedem Punkt der Erde genau die Position bestimmen. Die Grundgenauigkeit liegt bei 5 bis 7 m. Für die Felderkennung reicht dies aus, auch für die Ertragskartierung und die teilflächenspezifische Bewirtschaftung, nicht aber für ein exaktes Erfassen der Schlagfläche. Deshalb wird häufig mit einem differentiellen GPS, dem DGPS gearbeitet. Hier sorgen zusätzliche Korrektursignale, die über Funk, Radiowellen oder Satellit abgestrahlt werden, für eine höhere Genauigkeit. Je nach Geräteausstattung und Korrektursignal liegen die Abweichungen dann unter einem Meter (HÜTER et al. 2005, S. 30). Die EU hat den Aufbau eines eigenen satellitengestützten, rein zivilen Navigations- und Ortungssystems mit Namen GALILEO begonnen. Dieses soll bis 2014<sup>34</sup> aufgebaut sein, wird eigene Frequenzen verwenden und unabhängig vom Netz der amerikanischen GPS-Satelliten arbeiten.

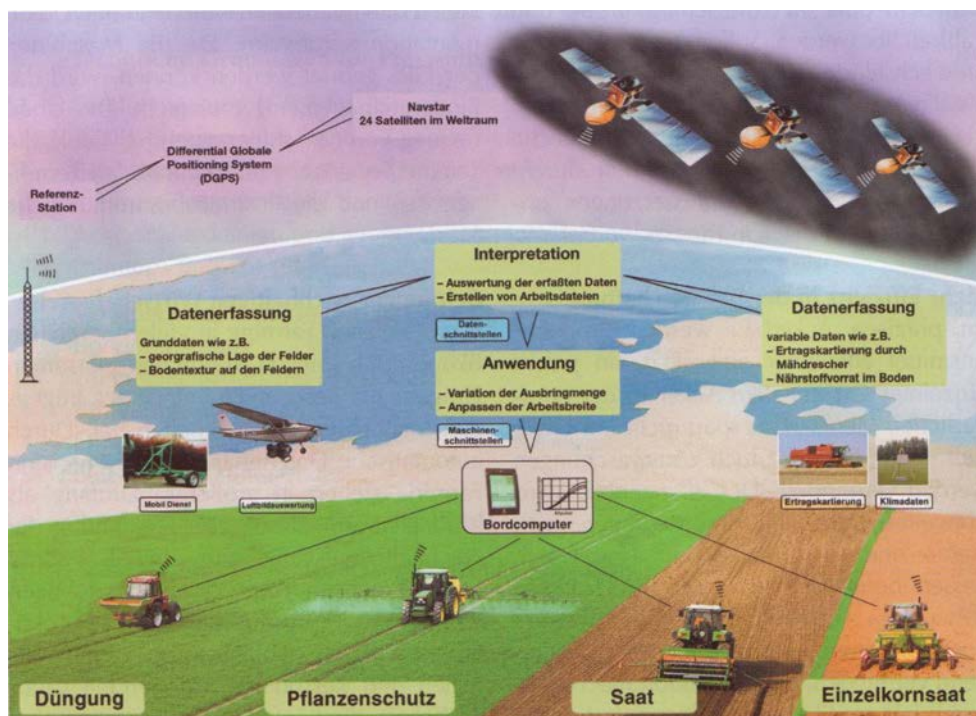
GALILEO wird neben frei verfügbaren Ortungssignalen mit Genauigkeiten von rund vier Metern auch kommerzielle Dienste anbieten, die sehr genaue Positionsbestimmungen von weniger als einem Meter erlauben sollen, mit Hilfssendern sogar im Dezimeterbereich (AUSSCHUSS FÜR BFTA 2006, S. 21). Einen Überblick über den satellitengestützten Technikeinsatz des Precision Farming bietet Abbildung 6.

Die grundlegenden Verfahrensschritte der PF-Technologie lassen sich in vier Arbeitsschritten zusammenfassen. Im ersten Schritt werden Informationen gesammelt (Datenerfassung). Die aus der Beobachtung eines Merkmals entstehenden Daten (Rohdaten) erfahren anschließend eine Bearbeitung. Hier wird ihr Informationsgehalt nach pflanzenbaulichen Erkenntnissen ausgewertet (Interpretation). In einem dritten Schritt erfolgt die Umsetzung der abgeleiteten Daten (Applikationsmengen, Sollwerte) in die Steuerung der Maschinen, die Anwendung. Viele Maschinen bieten die Möglichkeit, die durchgeführte Maßnahme unmittelbar zu dokumentieren (4. Schritt) (LUDOWICY et al. 2002).

---

<sup>34</sup> letzte aktuelle Daten nach [http://de.wikipedia.org/wiki/Galileo\\_\(Satellitennavigation\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Galileo_(Satellitennavigation)), 27.11.2012

Abbildung 6: Satellitengestützter Technikeinsatz bei Precision Farming



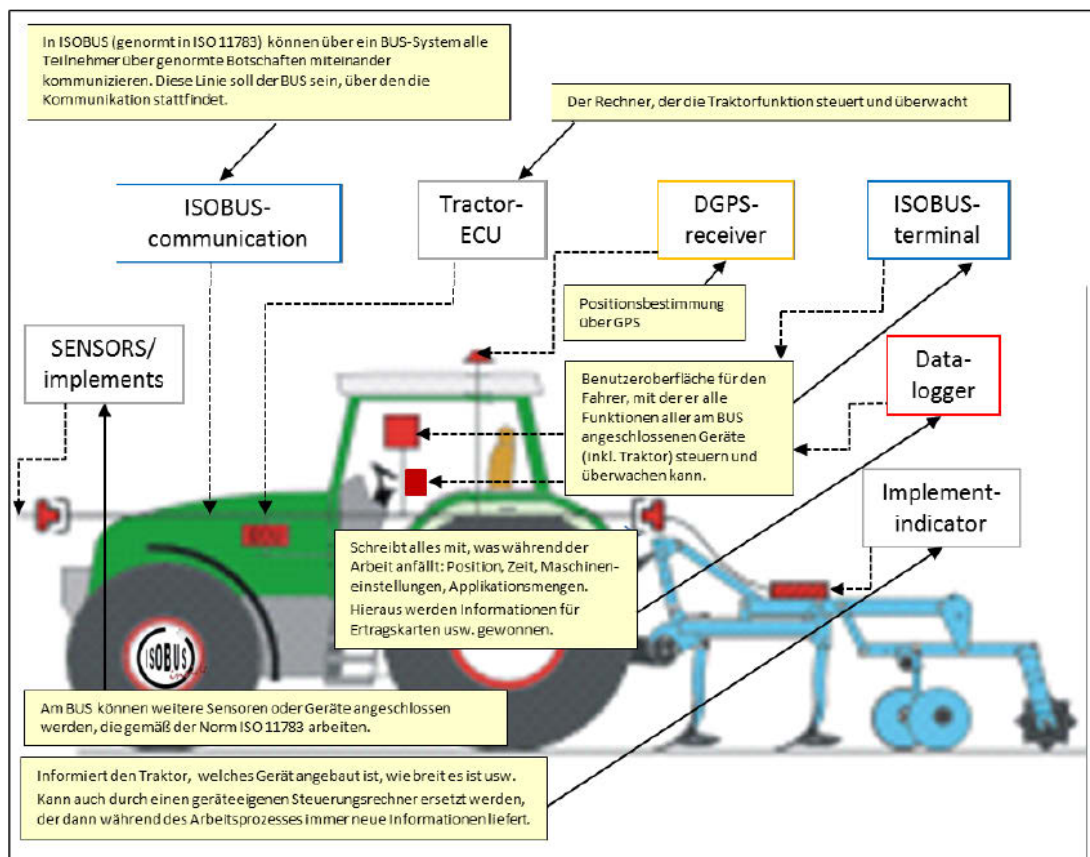
Quelle: HÜTER et al. 2005, S. 6

Eine Veranschaulichung des Systems für die Precision-Farming-Technik am Schlepper direkt findet sich nachfolgend in Abbildung 7 dargestellt.

In Abhängigkeit von der zeitlichen Beziehung zwischen Datenerfassung, Entscheidungsfindung und Bewirtschaftungsmaßnahme wird bei den PF-Verfahren derzeit grundsätzlich zwischen Offlineverfahren (Kartieransatz), Onlineverfahren (Sensoransatz) und der Kombination von Offline- und Onlineverfahren, dem map-overlay (Sensoransatz mit Kartenüberlagerung) unterschieden (AUSSCHUSS FÜR BFTA 2006, S. 4).

Die überwiegende Zahl der in der Praxis umgesetzten Systeme bezieht sich auf den Kartieransatz (LUDOWICY et al. 2002, S. 10 und AUSSCHUSS FÜR BFTA 2006, S. 5). Bei diesem *Offlineverfahren* besteht zwischen Datenerfassung, Erstellung des Maschinenauftrages und Durchführung der Bewirtschaftungsmaßnahme kein unmittelbarer zeitlicher Zusammenhang (AUSSCHUSS FÜR BFTA 2006, S. 4). Hier wird das Feld am Computer in kleine, rechteckige Rasterzellen mit entsprechenden Geokoordinaten aufgeteilt (Rasterbildung). Jeder Rasterzelle wird ein bestimmter Wert (Sollwert, Applikationswert) für die Bewirtschaftungsmaßnahme zugewiesen, es entstehen sog. Applikationskarten. Die Informationen, auch Basisinformationen genannt, aus denen der Sollwert, Applikationswert für eine bestimmte Rasterzelle abge-

Abbildung 7. System für PF-Technik



Quelle: STEINBERGER 2005

leitet wird, sind sehr verschieden. Es können Ertragswerte, Kennwerte chemischer oder physikalischer Bodeneigenschaften etc. sein. Das Sammeln der Basisinformationen über ein Merkmal des Feldes erfolgt in aller Regel zu einem früheren Zeitpunkt als ihre Auswertung und das Erstellen der Applikationskarten sowie ihre Nutzung bei einer Bewirtschaftungsmaßnahme (LUDOWICY et al. 2002, S. 10–11). Das Offlineverfahren kann eingesetzt werden, wenn die Merkmale, auf deren Beeinflussung die Bewirtschaftungsmaßnahme abzielt, relativ stabil sind (AUSSCHUSS FÜR BFTA 2006, S. 4). So wird der Kartieransatz in der Praxis besonders bei der Versorgung mit Grundnährstoffen und Spurenelementen angewendet. Auch bei der ersten Stickstoff (N)-Düngung (Startgabe) wird mit diesem Verfahren gearbeitet (LUDOWICY et al. 2002, S. 11). Einschränkungen ergeben sich teilweise durch den Arbeitsaufwand oder die anfallenden Kosten (z. B. für Bodenbeprobungen und -analysen). Die entscheidenden Schwachstellen der Offlineverfahren liegen bei der aufwendigen Verwaltung und Analyse großer Datenmengen, bei der Dateninterpretation und Entscheidungsfindung mit Hilfe von Regeln oder geeigneten Modellen sowie bei der

Erstellung von Applikationskarten, die hinreichend genau und kostengünstig produzierbar sein sollen (AUSSCHUSS FÜR BFTA 2006, S. 4).

*Onlineverfahren* werden eingesetzt, wenn es sich um schnell ändernde Produktionsfaktoren, bspw. Stickstoffbedarf der Kulturpflanzen handelt und eine zeitnahe Arbeitserledigung erforderlich ist. Dabei werden die relevanten Merkmale, z. B. die Stickstoffversorgung des Pflanzenbestandes anhand von optischen, mechanischen oder biochemischen Eigenschaften des Pflanzenbestandes indirekt auf dem Feld über Sensoren erfasst und die entsprechende Maßnahme, z. B. die Stickstoffdüngerapplikation, wird unmittelbar daran gekoppelt ausgeführt (AUSSCHUSS FÜR BFTA 2006, S. 4), die Maßnahmen werden „on-the-line“ durchgeführt. So unterscheidet die direkte zeitliche Abfolge zwischen Informationsgewinnung und Informationsverwertung (LUDOWICY et al. 2002, S. 11) das Onlineverfahren vom Offlineverfahren. Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal stellt die Vielfalt der verarbeiteten Informationen dar. Während bei Offlineverfahren viele verschiedene Datensätze eines Feldes in die Festlegung einer Sollwertkarte eingehen, verringert sich die Anzahl der verwendeten Daten beim Sensoransatz auf wenige, aktuelle Kenngrößen. Auch die Ermittlung der Geokoordinaten (Positionsangaben) ist nicht unbedingt erforderlich. Durch die unmittelbare Kombination von Informationsgewinnung, Informationsverarbeitung und Informationsanwendung wird die vorherrschende Dynamik des pflanzenbaulichen Produktionssystems bei diesem Verfahren stärker als beim Offlineverfahren berücksichtigt (LUDOWICY et al. 2002, S. 11 f.). Praktische Anwendung des Onlineverfahrens gibt es bei der teilflächenspezifischen Stickstoff-Düngung (HÜTER et al. 2005, S. 18), dem Yara N-Sensor oder CROP-Meter (AUSSCHUSS FÜR BFTA 2006, S. 5) und der Unkrautbekämpfung (AUSSCHUSS FÜR BFTA 2006, S. 25). Da die Online-Sensorik den geringsten Aufwand hinsichtlich des Datenmanagements benötigt, ohne Vorerhebungen sofort einsetzbar ist und die Kosten des Onlineverfahrens geringer sind als beim Offlineverfahren, ist die teilflächenspezifische N-Düngung (2. und 3. Gabe) mittels N-Sensor unter den verschiedenen Precision-Farming-Verfahren in der Praxis weit verbreitet (HÜTER et al. 2005, S. 19). Der Stickstoffsensor wird in Deutschland auf rund 400.000 ha, dies entspricht ca. 3,4 % der Ackerfläche, eingesetzt, hauptsächlich in den neuen Bundesländern, ansatzweise aber auch in Niedersachsen und Schleswig-Holstein (AUSSCHUSS FÜR BFTA 2006, S. 5).

Jedoch steckt die ausreichend genaue und kostengünstige Datenerfassung mittels Sensoren für viele Anwendungsbereiche noch im Stadium der Forschung und Ent-

wicklung, so dass dies derzeit eine bedeutende Schwachstelle von Onlineverfahren ist. Bei der Entwicklung von sensorbasierten Datenerfassungssystemen sind insbesondere Schwierigkeiten in Form von Störgrößen (z. B. Belichtungsverhältnisse sind auszuschalten, durch Sensoren erfassbare Pflanzenparameter werden durch verschiedene maßnahmenunabhängige Faktoren beeinflusst) zu überwinden, d. h. von den Sensordaten kann nicht unmittelbar auf die Ausgestaltung der Bewirtschaftungsmaßnahme geschlossen werden (AUSSCHUSS FÜR BFTA 2006, S. 25 f.).

Eine weitere Schwachstelle von Onlineverfahren – wie bei den Offlineverfahren auch – sind die fehlenden pflanzenbaulichen Regeln zur Interpretation der erfassten Sensordaten und zur Ableitung gesicherter Entscheidungsalgorithmen für die (semi)automatische Umsetzung von Sensorinformationen in Applikationsmaßnahmen (AUSSCHUSS FÜR BFTA 2006, S. 26).

Die *Kombination von Offline- und Onlineverfahren* wird auch als *Sensoransatz mit Kartenüberlagerung* oder *map-overlay* bezeichnet. Sie zielt darauf ab, die Vorteile beider Verfahren zu vereinen (AUSSCHUSS FÜR BFTA 2006, S. 15). Sensoransätze erkennen und berücksichtigen nur die aktuelle Situation. Örtliche Ertragsausprägungen verschiedener Jahre oder teilflächenspezifische Standorteigenschaften eines versetzten Erhebungszeitpunktes können nicht bei der Bewirtschaftungsmaßnahme berücksichtigt werden. Erst in der Kombination von Offline- und Onlineverfahren fließen Informationen aus zeitversetzten Erhebungen mit in die Bestimmung der aktuellen Sollwerte ein (LUDOWICY et al. 2002, S. 12). Zum Beispiel kann ein Sensor im Frühjahr nicht die Bereiche ausgeprägter Sommertrockenheit erfassen. Wird diese Information bei sensorgestützten Maßnahmen mitberücksichtigt, lassen sich zu hohe Düngergaben vermeiden (HÜTER et al. 2005, S. 19). Bei zunehmender Bedeutung einer umweltentlastenden Produktion ist es wichtig, das Offlineverfahren in den Sensoransatz zu integrieren (LUDOWICY et al. 2002, S. 12). So können beim kombinierten Ansatz Wasserschutzgebietsregelungen und andere Naturschutzauflagen bei pflanzenbaulichen Maßnahmen miteinbezogen werden, wenn die Einschränkungen dieser Bereiche auf den zugrunde liegenden Sollwertkarten verzeichnet sind (HÜTER et al. 2005, S. 19)

In der Praxis spielt das kombinierte Verfahren bislang eine untergeordnete Rolle (HÜTER et al. 2005, S. 19). Der bekannteste und noch am weitesten entwickelte Sensoransatz mit Kartenüberlagerung ist die Generation des Hydro-N-Sensors zur Stick-

stoff-Düngung. Hier erfassen Sensoren die Lichtreflexion der Pflanzen. Ihre Information wird unmittelbar für die Ausbringung der N-Düngermenge durch den angeschlossenen Düngerstreuer genutzt. Zusätzlich können Karteninformationen (Faktorkarten) für die Bestimmung der Düngermenge eingesetzt werden (LUDOWICY et al. 2002, S. 12). Es wird erwartet, dass zukünftig Kombinationen von Offline- und Onlineverfahren an Bedeutung gewinnen werden. Damit werden allerdings auch die Anforderungen an Datenverwaltung, Dateninterpretation und Entscheidungsfindung weiter steigen (SCHNEIDER 2006).

Die Ertragskartierung (Offlineverfahren) sowie die N-Sensordüngung (Onlineverfahren) gehören derzeit zu den PF-Verfahren mit dem größten Verbreitungsgrad in der deutschen Landwirtschaft. Zur selektiven Unkrautbekämpfung sind erste Verfahren bis zur Praxisreife entwickelt worden. Ein Beispiel ist die sehende Feldspritze, die Art und Menge der Ungräser und Unkräuter erkennen und diese von den Kulturpflanzen unterscheiden kann, in der Lage ist, bis zu drei Wirkstoffe gleichzeitig auszubringen und die Aufwandmenge dem Befallsdruck anzupassen. Zur teilflächenspezifischen Ausbringung von Fungiziden (auch Wachstumsreglern) eignet sich der CROP-Meter, der anhand indirekter Merkmale (Dichte des Pflanzenbestandes) auf die Notwendigkeit einer Behandlung schließt. Weitere sensorgestützte Ansätze zur indirekten und direkten Erkennung von Pilzkrankheiten sind in der Entwicklung (DAMMER et al. 2008, S. 261).

Einige weitere PF-Verfahren wurden ebenfalls bis zur Praxisreife entwickelt, ohne dass sich bislang jedoch eine breitere Anwendung abzeichnet. Hierzu gehört die teilflächenspezifische Grunddüngung mit Phosphor, Kalium und Magnesium. In der Entwicklung befindliche Sensoransätze könnten dazu beitragen, den hierfür derzeit erforderlichen hohen Aufwand für Bodenbeprobungen und Bodenanalysen auf ein praktikables Niveau zu senken. Eine Praxisreife und wirtschaftliche Vorteilhaftigkeit des Verfahrens ist allerdings bisher nur bei Phosphor gegeben (DONUSCH und SCHIRRMANN 2009, S. 41 ff., 60).

Precision Farming stellt auch in zunehmendem Maße Instrumente sowohl für den integrierten also auch für den ökologischen Landbau zu Verfügung. Hier sind vor allem PF-Techniken zur mechanischen bzw. thermischen Unkrautregulierung und die teilflächenspezifische Ausbringung organischer Dünger von Interesse. Auch der Einsatz von Precision Farming zur teilflächenspezifischen Ernte (z. B. von Qualitätsge-



treide) sowie zur Dokumentation betrieblicher Maßnahmen stellen für den ökologischen Landbau attraktive Optionen dar (WERNER et al. 2008, S. 34).

### **Ansätze des Precision Farming aus volkswirtschaftlicher Sicht**

Doch welche Ansätze der Technologie des Precision Farming werden aus Sicht der volkswirtschaftlichen Analyse verfolgt?

Ausgangspunkt jeglichen Einsatzes von Precision Farming im Pflanzenbau ist das Potenzial eines Ackerschlaes an spezifischer Standortheterogenität bzw. kleinräumiger Unterschiede im Schlag. In Abbildung 8 wird dies beispielhaft im ersten Bild als feuchte Senke mit unregelmäßig aufgegangener Saat in einem Weizenschlag dargestellt. Precision Farming verspricht durch die Erfassung und Anpassung der pflanzenbaulichen Maßnahmen an die schlagspezifische Heterogenität der für das Pflanzenwachstum relevanten Faktoren eine erhebliche Verbesserung der Effizienz des Ressourcen- und Betriebsmitteleinsatzes (WAGNER 2006b, S. 1). Eine homogene konstante Behandlung von Ackerflächen kann somit als suboptimale Bewirtschaftung bezeichnet werden, wohingegen Precision Farming die optimale Lösung ermöglicht. So bietet Precision Farming auch die Möglichkeit, das Produktionsziel, das auf einem Schlag verfolgt wird, entsprechend anzupassen. Das landwirtschaftliche Produktionsziel kann entweder die reine Nahrungsmittel-/Rohstoffproduktion, die „Commodity Output“<sup>35</sup>-Produktion anstreben oder die „Non Commodity Output“<sup>36</sup>-Produktion bzw. die Produktion von Externalitäten (bspw. Naturschutz).

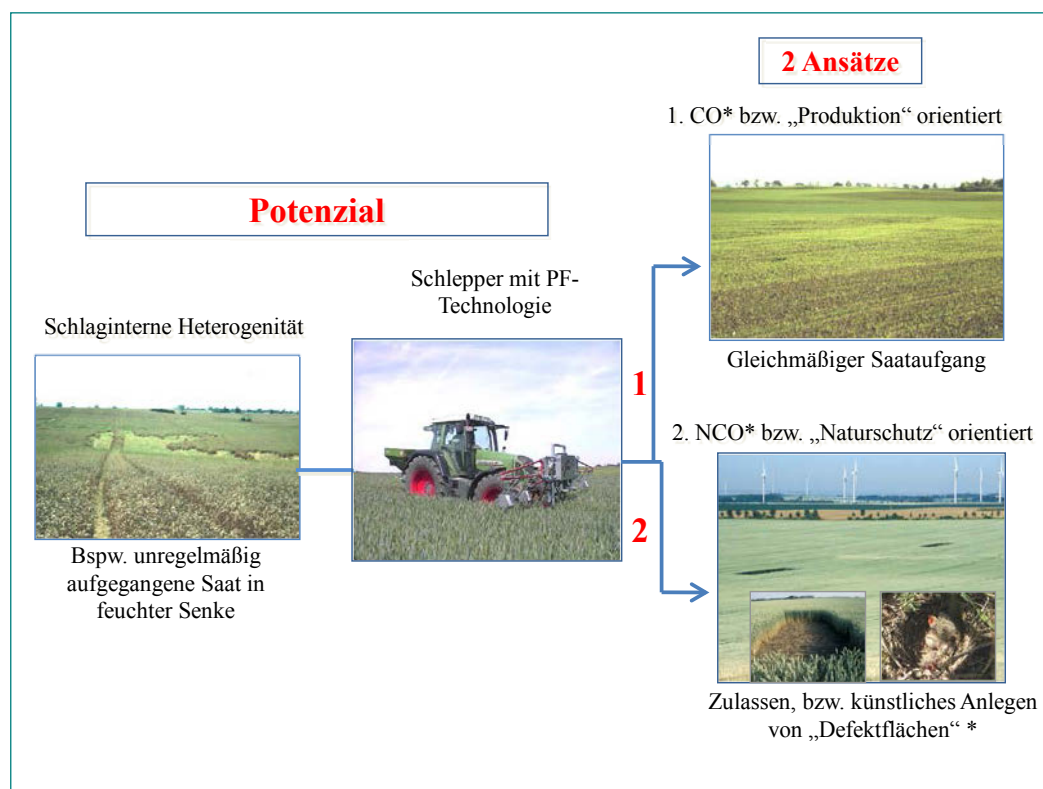
So müssen also in einer volkswirtschaftlichen Betrachtung und Analyse, die vor allem ihr Augenmerk auf den ökologischen Nutzen des Precision Farming richtet, beide Produktionsziele bzw. Ansätze berücksichtigt werden, nämlich die Produktion von Commodity Outputs (CO) und Non Commodity Outputs (NCO). Für die Commodity Outputs, die landwirtschaftliche Nahrungsmittelproduktion, werden mit Hilfe von Precision Farming schlaginterne Unterschiede auszugleichen versucht, um so

---

<sup>35</sup> Non Commodity Output (NCO): Der Begriff der NCOs bezeichnet die vielfältigen ökonomischen, sozialen und ökologischen Effekte, welche die Landwirtschaft im Zusammenhang mit der Produktion von Nahrungsmitteln und Rohstoffen (CO: Commodity Outputs) bereitstellen kann. Neben der Produktion von Commodities hat die Landwirtschaft schon seit jeher zahlreiche Externalitäten bereitgestellt. Non-Commodities können somit als Externalitäten definiert werden, welche sowohl negativ als auch positiv sein können, wobei externe Effekte wiederum als die Auswirkung ökonomischen Handelns auf die Wohlfahrt eines unbeteiligten Dritten, für die niemand bezahlt oder einen Ausgleich erhält, verstanden werden (Wüstemann 2004, S. 57).

über eine optimale Bestandesführung auch optimale Erträge zu erwirtschaften, bspw. ein gleichmäßiger Saataufgang von Weizen (*Ansatz 1*). In der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming werden die COs über die direkten Wirkungen mit ihren direkten Nutzen und Kosten, die auf betriebswirtschaftlicher Ebene anfallen, bewertet. *Ansatz 2* des Precision Farming versucht die NCO-Produktion bzw. den Naturschutz zu optimieren und in die Betriebsplanung mit einzubeziehen über Nutzung der natürlichen Heterogenität oder gar Schaffung von künstlicher Heterogenität im Schlag durch sog. „Defektflächen“<sup>36</sup>. Bspw. werden hier in Abbildung 8, *Ansatz 2*, Defektflächen angelegt, um die Feldlerche wieder anzusiedeln. Hieraus ergeben sich volkswirtschaftliche Nutzen (und evtl. auch Kosten), die über die Bewertung der indirekten Wirkungen, hauptsächlich der Umweltwirkungen, in die Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming mit einfließen.

Abbildung 8. Ansätze der Technologie des Precision Farming



<sup>36</sup> Defektflächen: Das gezielte Aussparen kleiner Bereiche innerhalb eines Schlages mit pflanzenbaulichen Maßnahmen (bspw. Saat, Pflanzenschutz, Düngung) und somit Erzeugung unbehandelter, ausgesparter oder „defekter“ (im CO-Sinne) Areale, zum Schutz kleinräumiger Biotope (BERGER und JÖRNS 2006).

### 3.3 Das Forschungsprojekt pre agro II

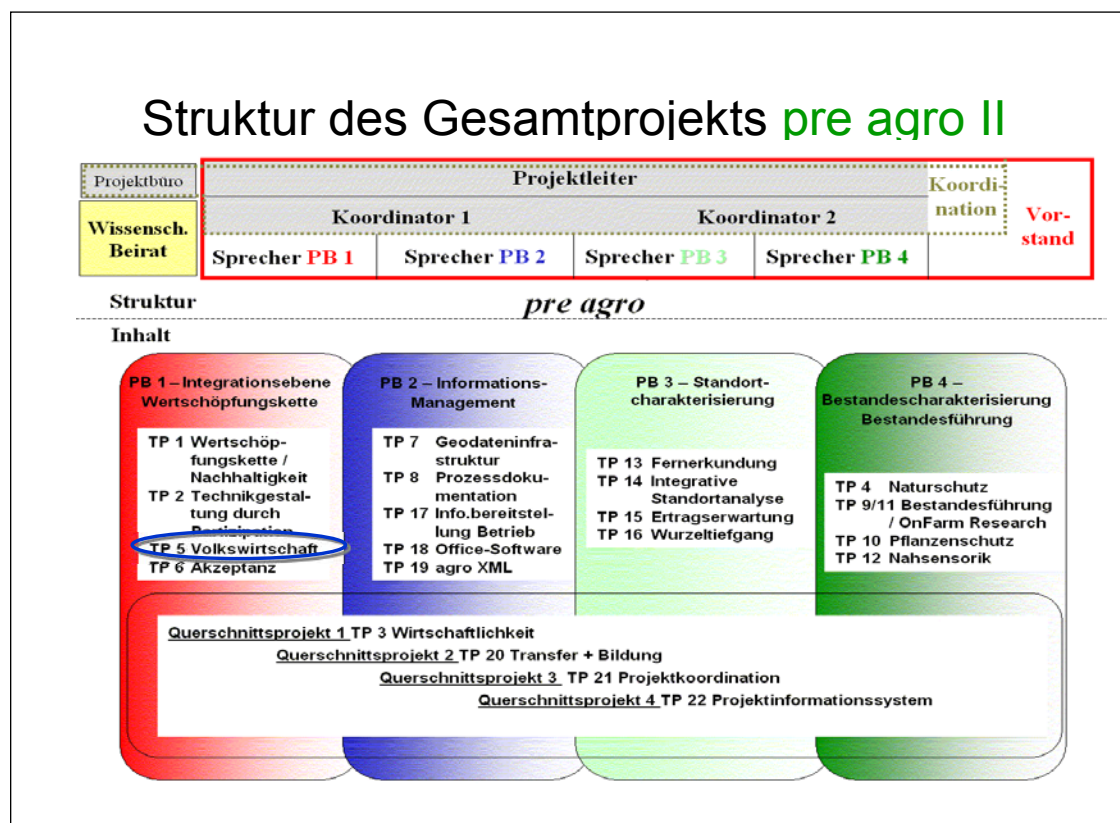
Die Forschungsarbeiten zu der vorliegenden Arbeit „Volkswirtschaftliche Analyse einer flächenweiten Einführung von Precision Farming in Deutschland“ sind im Rahmen des *pre-agro-II*-Projektes durchgeführt worden. Das Projekt wurde von Oktober 2004 bis März 2008 als inter- und transdisziplinäres Forschungsverbundprojekt zu Precision Farming durchgeführt und durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF, Bonn) gefördert. Das Projekt war angesiedelt im Programm „Forschung für die Nachhaltigkeit“ des BMBF und erarbeitete und untersuchte neue technische Lösungen für die produktionsintegrierte Erarbeitung von Aspekten nachhaltiger Entwicklung für die landwirtschaftliche Pflanzenproduktion.

Aufgabe des Forschungsverbundprojektes pre agro II war es, für den Einsatz von Precision Farming (PF) in der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion spezielle Lösungen zu wichtigen Problemen der Standort- und Bestandesanalyse und dem Informationsmanagement im Betrieb zu liefern sowie Voraussetzungen für eine Verbesserung der Praxiseinführung von Precision Farming zu ermitteln (WERNER et al. 2008, S. 33). Das Verbundprojekt pre agro II setzte sich aus 22 Teilprojekten zusammen, an denen 26 Institute oder Arbeitsgruppen von 22 Einrichtungen beteiligt waren. Die Teilprojekte wurden von Partnern aus universitärer, außeruniversitärer und industrieller Forschung sowie von wissenschaftlich ausgerichteten Institutionen aus dem landwirtschaftlichen Sektor bearbeitet, die den Transfer aus Forschung und Entwicklung in die Praxis unterstützten. Zwei Partnerbetriebe (WIMEX, Wulfen in Sachsen-Anhalt) und Betrieb Täger-Farny, Volkmarsdorf in Niedersachsen) dienten als Experimentalbetriebe, auf deren Betriebsfläche einerseits pflanzenbauliche Versuche durchgeführt wurden, andererseits aber auch die anfallenden Echt Daten der Produktion zur Abbildung von Daten- und Informationsflüssen genutzt wurden. Die fachlichen Schwerpunkte des Verbundprojektes wurden aus organisatorischen Gründen in vier inhaltliche Projektbereiche (PB) zusammengefasst: PB 1 bis 4 (siehe Abbildung 9) Innerhalb dieser Bereiche waren jeweils mehrere Teilprojekte angesiedelt, die fachspezifische Fragestellungen bearbeiteten oder spezielle Aufgaben im Projekt wahrnahmen. Vier Querschnittsprojekte verbanden die verschiedenen Projektbereiche in besonderer Weise (WERNER et al 2008, S. 36 f.).

Die volkswirtschaftliche Analyse des Precision Farming war im PB1 in Teilprojekt 5 angesiedelt. Projektleiter war hier Prof. Dr. Klaus Müller, Institutsleiter des Institutes für Sozioökonomie am Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V. in

Müncheberg. Die Autorin dieser Arbeit, zu dieser Zeit Mitarbeiterin am ZALF, war alleinige Bearbeiterin des Teilprojekts 5 und zuständig für Forschung, Dokumentation, Organisation und Präsentation. In sehr enger und guter Kooperation wurde mit einem der Querschnittsprojekte, mit Teilprojekt 3 „Wirtschaftlichkeit“, zusammengearbeitet, nämlich zum Zwecke der monetären Bewertung der direkten Wirkungen des Precision Farming. Darüber hinaus fand ein intensiver Austausch zur Bearbeitung spezifischer Fachfragen mit Teilprojekt 4 „Naturschutz“ (zur Bewertung der indirekten Wirkungen, Umweltwirkungen), Teilprojekt 6 „Akzeptanz“ und Teilprojekt 14 „Integrierte Standortanalyse“ und Teilprojekt 15 „Modellgestützte Generierung von Ertragserwartungskarten“ zur Berechnung und Visualisierung von PF-Potenzialflächen in Ostdeutschland über den in Teilprojekt 5 entworfenen Heterogenitätsindikator, HEI<sup>37</sup>.

Abbildung 9. Struktur des pre-agro-II-Projektes



Quelle: WERNER et al. 2008, S. 37

<sup>37</sup> siehe dazu Kapitel 4

Die im pre-agro-II-Projekt erzielten Ergebnisse sind im Abschlussbericht „Informationsgeleitete Pflanzenproduktion mit Precision Farming als zentrale inhaltliche und technische Voraussetzung für eine nachhaltige Entwicklung der landwirtschaftlichen Landnutzung – pre agro II“ bei WERNER et al. 2008 nachzulesen.

### **3.4 Die Nutzen-Kosten-Analyse eines schlagspezifischen Einsatzes von Precision Farming am Beispiel der Wulfen-Studie**

#### ***Die Voranalyse der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming***

Da die Aufgabenstellung der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming bereits durch das pre-agro-II-Forschungsprojekt sehr genau beschrieben ist, ergeben sich für die gesamte Voranalyse keine grundlegenden Schwierigkeiten.

Die Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming befasst sich mit der Frage nach dem volkswirtschaftlichen Nutzen eines flächenweiten oder größeren regionalen Einsatzes der Precision-Farming-Technologie im Landbau. Ist diese Technologie wirtschaftlich sinnvoll und erbringt sie einen deutlichen ökologischen Nutzen für die Gesellschaft? Ist eine Förderung mit agrarpolitischen Mitteln sinnvoll und gerechtfertigt (Beschreibung der Aufgabe, Stufe 1 des NKA-Verfahrensmusters<sup>38</sup>, siehe auch Kapitel 2.3.1)

Somit verfolgt die Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming schwerpunktmäßig die quantitative Einbeziehung naturschutzfachlicher Ziele (der relevanten ökologischen Wirkungen) in die Analyse (Zielsystem, Stufe 2 des NKA-Verfahrensmusters). Als Beispiel seien hier bereits vorneweg die Schlagworte Biodiversität und Habitat (Feldlerche) genannt. Weiterhin verfolgt die Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming ökonomische Ziele, wie bspw. qualitativ gesicherte Aussagen zur betriebswirtschaftlichen Rentabilität des Precision Farming.

Eine flächenweite Einführung von Precision Farming in Deutschland wird aller Voraussicht nach nicht ohne staatliche Förderung möglich sein. Derartige wirtschaftliche Entscheidungen im Staatssektor können aber nicht losgelöst von den Rahmenbedingungen einer Volkswirtschaft erfolgen. Der vorliegenden Nutzen-Kosten-Analyse ist ein umweltpolitisches Interesse auferlegt (Nebenbedingungen, Stufe 3 des NKA-Verfahrensmusters).

---

<sup>38</sup> das NKA-Verfahrensmuster siehe Kapitel 2.3, Tabelle 1.

Die aufwendige Suche nach relevanten Projekialternativen (Stufe 4 des NKA-Verfahrensmusters) erübrigt sich für das Projekt der Nutzen-Kosten-Analyse, da von vornherein nur eine Technologie-Alternative, nämlich die Einführung des Precision Farming im Landbau durch das Forschungsprojekt selbst vorgegeben ist. So wird getreu dem „Mit-Ohne-Prinzip“ der Mehr- oder Minderwert des Projekts anhand eines Vergleichs der künftigen Entwicklung im Landbau „mit“ Precision Farming und „ohne“ Precision Farming ermittelt.

### 3.4.1 Identifizierung der Projektwirkungen

#### *Die Analyse im engeren Sinn*

Als eines der zentralen Elemente der Untersuchungen zur Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming stellt sich die Identifizierung der Wirkungen einer flächenweiten Einführung von Precision Farming heraus.

So beschäftigt sich diese Stufe der Nutzen-Kosten-Analyse mit dem Erfassen und Beschreiben der entscheidungsrelevanten Vor- und Nachteile der Auswirkungen des Projektes. Das können positive oder negative Wirkungen bzw. Nutzen oder Kosten sein. In der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming werden *direkte, indirekte* und *intangible Wirkungen* unterschieden<sup>39</sup>. Es werden alle realen Wirkungen berücksichtigt, die von einem Vergleich der Bewirtschaftung „mit“ und „ohne“ Precision Farming ausgehen. Dabei wird das Hauptaugenmerk auf Umweltwirkungen gerichtet, die von Precision Farming ausgehen können.

Zunächst wird versucht, alle realen Wirkungen zu identifizieren, die von Precision Farming ausgehen können. Alle Wirkungen, für die dann in der Fallstudie „Wulfen“ kein monetärer Wert gefunden werden kann, sei es, es fehlen die Methoden oder es ist zu umständlich oder aus Kapazitätsgründen innerhalb des pre-agro-II-Projektes, gelten als intangibel. Der Begriff der intangiblen Wirkungen wird also rein pragmatisch verstanden und beinhaltet keine ethischen Aspekte, wie bspw. intrinsische Werte.

Im Folgenden werden nun alle *potenziell möglichen* Projektwirkungen kurz beschrieben, die von einem Einsatz der Precision-Farming-Technologie im Vergleich

---

<sup>39</sup> zur Typisierung von Projektwirkungen siehe Kapitel 2.3.5

zu einer flächeneinheitlichen (nicht teilflächenspezifischen, konventionellen) Bewirtschaftung ausgehen können. Die Identifizierung bezieht sich also noch nicht auf Schläge des Feldversuches der Wulfen-Studie. Vielmehr wird hier ein „pool“ an möglichen Wirkungen des Precision Farming dargestellt, um die Bandbreite der Wirkungen des Precision Farming aufzuzeigen, die potenziell in ganz Deutschland auftreten könnten.

### *Potenzielle direkte Wirkungen*

*Direkte Wirkungen* (siehe Tabelle 4) sind bei der Anwendung der Precision-Farming-Technologie im Landbau auf der ökonomisch-betrieblichen Ebene anzutreffen.

Die negativen direkten Wirkungen (direkte Kosten) können in vier Gruppen unterteilt werden. In die erste Gruppe, *Kosten der Datenerhebung*, fallen alle Kosten, die beim Sammeln von Informationen zur Standortheterogenität entstehen, also auf deren Grundlage anschließend die teilflächenspezifische Bewirtschaftungsentscheidung getroffen wird. Hauptsächlich handelt es sich hier um den Einsatz aller Arten von Sensoren, wie bspw. die Ertragskartierung im Mähdrescher, aber auch die Bodenbeprobung oder Leitfähigkeitsmessung des Bodens (inkl. aller Kosten für Maschinen, Analyse und Arbeitszeit)<sup>40</sup>. Darauf folgt die Gruppe der Kosten, die bei der *Verarbeitung der Daten* und anschließenden Entscheidungsfindung entstehen. Wird dieser Schritt im landwirtschaftlichen Betrieb durchgeführt, so ist neben der Hardware dafür eine geeignete Software notwendig. Es wird Wissen darüber benötigt, wie aus den Daten teilflächenspezifische Bewirtschaftungsrückschlüsse zu ziehen sind. Es wäre durchaus denkbar, solche Arbeiten zur Datenverarbeitung an ein externes Dienstleistungsunternehmen zu übergeben. Anschließend folgt die Umsetzung der geplanten Precision-Farming-Maßnahmen. Es entstehen direkte *Kosten der Maßnahmendurchführung*. Bspw. ist ein teilflächenspezifisch ansteuerbarer Düngerstreuer notwendig, um eine Stickstoffapplikation differenziert durchzuführen. Diese nega-

---

<sup>40</sup> Die Standortunterschiede innerhalb von Schlägen aufzuspüren und räumlich genau zuzuordnen ist eine wichtige Voraussetzung für die Bewirtschaftungsmaßnahmen bei PF. Die genaueste Datenbasis schafft eine Schlagvermessung per Bodenbeprobung. Ein kostengünstigerer Ausgangspunkt kann die Messung der Leitfähigkeit des Bodens mit dem EM-38-Gerät (elektromagnetisch) sein. Die Ertragskartierung macht durch die Erstellung von Ertragskarten die Verteilung der Erträge optisch sichtbar und bietet so neben der Möglichkeit zur Erfolgskontrolle den Ertrag als Summe aller Einflüsse darzustellen (HÜTER et al. 2005, S. 37–39). Bei der Ertragskartierung wird der Hektarertrag für einzelne Feldstücke, basierend auf der Erfassung des aktuellen Erntegutdurchflusses während des Druschvorgangs im Mähdrescher aus mehreren hundert Stellen pro Hektar berechnet und dargestellt (HÜTER et al. 2005, S. 48).

tiven direkten Wirkungen fallen aber nur an, wenn eine zusätzliche Aus- bzw. Umrüstung der Technik notwendig ist.

Tabelle 4. Identifizierung der potenziellen direkten Wirkungen des Precision Farming

Beschreibung der Wirkung		Ebene
		Betrieb/Gesellschaft
<b>Kosten</b>		
<b>1</b>	Datenerhebung: Ertragskartierung: Nachrüstsatz Mähdrescher Bodenbeprobung: Mehrkosten GPS Probenahme, Analytik, Fahrzeug, AKh* Sensoreinsatz	Betrieb
<b>2</b>	Datenverarbeitung: Hardware: Büro PC, Ausstattung Traktor mit Terminal und DGPS-Empfänger Software Datenmanagement: Schulung, AKh Beratung: AKh Entscheidung: AKh	Betrieb
<b>3</b>	Maßnahmendurchführungskosten: Umrüstung Technik: Nachrüstung Dünger-, Drill-, Erntetechnik, Spritzgeräte	Betrieb
<b>4</b>	Kosten für zusätzliche Produktionsmittel: Dünger Pflanzenschutz Saatgut Kraftstoff AKh	Betrieb
<b>Nutzen</b>		
<b>5</b>	Einsparung an Betriebsmitteln: Dünger Pflanzenschutz Saatgut Kraftstoff Akh	Betrieb
<b>6</b>	Ertragssteigerung: Umverteilung, effizientere und präzisere Bewirtschaftung	Betrieb
<b>7</b>	Qualitätsverbesserung Feldfrüchte/Nahrungsmittel Angepasste Stickstoffdüngung im Getreide	Betrieb/Gesellschaft
*AKh: Arbeitskraftstunden		

Quelle: Eigene Erstellung nach HUFNAGEL et al. 2004, HÜTER et al. 2005, SCHWARZ 2005, SCHNEIDER 2005, SCHNEIDER und WAGNER 2005, WAGNER und SCHNEIDER 2005, TRAPHAN 2006, TÄGER-FARNY 2005



Verschiedene Landtechnikhersteller bieten auch jetzt schon Maschinen und Geräte an, worin die benötigte PF-Hardware serienmäßig integriert ist. Bei einer teilflächenspezifischen Bewirtschaftung von Schlägen kann es durchaus vorkommen, dass aufgrund eines diagnostizierten höheren Bedarfes *Kosten für zusätzliche Produktionsmittel* entstehen können. So könnte bspw. durch die teilflächenspezifische Stickstoffdüngung eine höhere Aufwandmenge an Düngemitteln appliziert werden als bei der feldeinheitlichen Bewirtschaftung.

Auf der Nutzenseite der direkten Wirkungen des Precision Farming ergeben sich zunächst einmal eine Vielzahl von *Einsparungsmöglichkeiten an Betriebsmitteln*, wie Stickstoff- und Grunddünger (Phosphor, Kali, Kalk), Saatgut, Pflanzenschutzmittel, Kraftstoff und Arbeitszeit. Zusätzlich zu der Betriebsmitteleinsparung stellt sich vor allem bei Getreide ein meist *positiver Ertragseffekt* (durchschnittlich 3 %) durch die effizientere und standortangepasste Ausbringung der Betriebsmittel ein (EHLERT et al. 2004, S. 289). Durch den präzisen Betriebsmitteleinsatz ist schließlich zusätzlich eine *Qualitätsverbesserung* der erzeugten landwirtschaftlichen Produkte zu verzeichnen.

Nach Berechnungen von WAGNER und SCHNEIDER (2005, S. 4–5) erscheint es durchaus realistisch, dass sich ein rein ökonomischer Vorteil aus dem Einsatz der Technologie im landwirtschaftlichen Betrieb bei einer Flächenausstattung ab 400 ha einstellt. So ergeben sich aus den ökonomischen Vorteilen zusätzliche positive Wirkungen in Bezug auf das Einkommen und die wirtschaftliche Existenzfähigkeit der landwirtschaftlichen Betriebe. Diese führen dann zu einer Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit und letztendlich zu einer Sicherung des wirtschaftlichen Wohlstandes.

#### *Potenzielle indirekte Wirkungen*

*Indirekte Wirkungen* des Einsatzes von Precision Farming (siehe Tabelle 5) im Landbau bewegen sich einerseits auf ökonomisch-betrieblicher Ebene im Bereich der betriebsinternen Transaktionskosten und Beschäftigung. Andererseits überwiegen aber die potenziell möglichen ökologischen Wirkungen des Precision Farming, d. h. Umweltwirkungen, die über die Betriebsebene hinausgehen und auch auf die Gesellschaft/Gesamtbevölkerung wirken.

Interessant war bei der Identifikation der potenziellen indirekten Wirkungen einer flächenweiten Einführung von Precision Farming die Tatsache, dass sich auf der

Kostenseite (negative Wirkungen) neben *betriebsinternen Transaktionskosten* für den hohen Arbeitsaufwand, um hauptsächlich die Technik „zum Laufen“ zu bringen, auch potenzielle *Biodiversitätskosten* in Form eines Verlustes sog. Segetalarten identifiziert werden konnten (JÖRNS 2005). Die präzise Bewirtschaftung der Schläge mit Hilfe der Precision-Farming-Technologie schränkt die Ackerrandstreifen erheblich ein, so dass ein Verlust des Habitats der typischen Segetalarten<sup>41</sup> zu verzeichnen wäre. Diese negative Umweltwirkung könnte noch verstärkt werden, wenn der Einsatz von Precision Farming mit Parallel-Fahrssystemen und automatischen Lenkeinrichtungen aufgerüstet wird. Mit dieser Zusatztechnik können die Feldarbeiten noch präziser bzgl. Einhaltung der Fahrspuren und Verminderung von Überlappung durchgeführt werden<sup>42</sup>.

Den potenziellen indirekten Kosten des Precision Farming steht nun eine Vielzahl an positiven Wirkungen gegenüber. Durch Precision Farming kann eine Reihe *betriebsinterner Transaktionskosten vermieden* werden, hauptsächlich im Betriebsmanagement zu Kontrolle und Dokumentation. Für die Arbeitsplanung können die Maßnahmen genau definiert werden (Ort, Art der Arbeit, Einsatzmengen) und sind einfach delegierbar. Dies führt zu einer besseren Arbeitsqualität, weniger Fehlern und die Durchführung der Arbeiten ist zudem überprüfbar. Precision Farming erleichtert auch die Dokumentation innerhalb eines landwirtschaftlichen Betriebes. Abgearbeitete Applikationskarten, auf die auch die tatsächlich durchgeführten Arbeiten zurückgeschrieben werden, liefern bspw. Informationen für die Schlagkartei. Damit stehen Daten für betriebswirtschaftliche Analysen bereit, die der Optimierung und Schwachstellenanalyse dienen können. Die Elektronik am Schlepper ermöglicht auch die Aufzeichnung von Maschinendaten. Damit wird die Kontrolle der Maschineneinstellungen während (online) und nach der Arbeit (offline) möglich. Einige Landtechnikhersteller bieten bei entsprechender Datenübertragung an, dies zur Ferndiagnose oder Fernwartung zu nutzen. Mit der Online-Übertragung von Maschinendaten lassen sich Einstellungsfehler oder Störungen erkennen. Auch die Position des Fahrzeugs ist im Reparaturfall lokalisierbar. Precision Farming ermöglicht außerdem noch das Flottenmanagement. Dadurch werden die logistische Steuerung und das Zusammenwirken mehrerer Fahrzeuge erheblich verbessert und erleichtert. Dies hat

---

<sup>41</sup> Arten im Randbereich einer Ackerfläche

<sup>42</sup> ohne Zusatztechnik ca. 10 % Überlappung (TÄGER-FARNY 2005)

sich bereits bei der Abfuhr von Zuckerrüben bewährt. Die Anlieferung an die Zuckerrübenfabrik wird so gelenkt, dass dort keine langen Wartezeiten entstehen (HÜTER et al. 2005, S. 27).

Tabelle 5. Identifizierung der potenziellen indirekten Wirkungen des Precision Farming

Beschreibung der Wirkung		Ebene
		Betrieb/Gesellschaft
<b>Kosten</b>		
1	Ökologisch: <ul style="list-style-type: none"> <li>Verlust Biodiversität (Habitat Segetalarten)</li> </ul>	Gesellschaft, (Betrieb)
2	Betriebsinterne Transaktionskosten: <ul style="list-style-type: none"> <li>Lange Anlaufzeit um Technologie „zum Lauf“ zu bringen, Fehler, Komplettausfall</li> </ul>	Betrieb
<b>Nutzen</b>		
3	Vermeidung betriebsinterner Transaktionskosten im Betriebsmanagement: <ul style="list-style-type: none"> <li>Arbeitsplanung</li> <li>Dokumentation</li> <li>Maschinendaten</li> <li>Flottenmanagement</li> </ul>	Betrieb
4	Beschäftigung: <ul style="list-style-type: none"> <li>Betriebsintern: Spezialisierung der Arbeit hin zu Technik und Informatik</li> <li>Am Markt: Entstehung neuer Branchen (spezielle PF-Dienstleistungsunternehmen)</li> </ul>	Betrieb  Gesellschaft
5	Ökologisch - biotisch: <ul style="list-style-type: none"> <li>Schutz und Erhalt von Arten: Amphibien, Säugetiere auf AF* (NQZ*8,9,11), Ackerwildkrautarten (NQZ13,15) Erhalt Prädatoren und Parasitoide (NQZ14)</li> <li>Schutz von Habitaten: Erhalt Nahrungshabitat (NQZ10)</li> <li>Neuanlage von Habitaten: Ansiedlung Feldlerche auf sog. „Defektflächen“ (NQZ16)</li> <li>Biotop: Schutz (NQZ6), Verbund und Aufbau (NQZ12)</li> </ul>	Gesellschaft, (Betrieb)
6	Ökologisch – abiotisch <ul style="list-style-type: none"> <li>Bodenschutz: Minimierung der Erosion (NQZ2), Verdichtung; Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit (NQZ1)</li> <li>Verringerung chemische Verunreinigung: Minimierung der negativen Effekte auf Ackerflächen (NQZ5)</li> <li>Wasserschutz: Verminderung N-Auswaschung, Schutz Still- und Fließgewässer (NQZ3), terrestrische Biotope (NQZ4)</li> </ul>	Gesellschaft, (Betrieb)
7	Kulturlandschaft <ul style="list-style-type: none"> <li>Landschaftsbild (NQZ7): Erhalt und Wiederherstellung von standörtlichen Unterschieden und Gradienten auf AF</li> </ul>	Gesellschaft

\*NQZ: Naturschutzqualitätsziel, AF: Ackerflächen

Quelle: eigene Erstellung nach HÜTER et al. 2004, PLACHTER und JANBEN. 2004, JÖRNS 2005

Positive indirekte Wirkungen des Precision Farming können auch in Bezug auf *Beschäftigung* entstehen. Im landwirtschaftlichen Betrieb können Arbeitsplätze erhalten, gesichert oder sogar neu geschaffen werden durch die Spezialisierung der Arbeit hin zu technischem Know-how und Informatik. Mit Einzug des technischen Fortschritts in die Landwirtschaft könnte dann wiederum der Abwanderung von jungen Menschen aus ländlichen Regionen entgegengewirkt werden (mehr dazu unter Intangibles, Tabelle 6).

Mit der Ausbreitung von Precision Farming in der Landwirtschaft können sich auch positive Beschäftigungseffekte am Markt einstellen. Bereits in der Vergangenheit ist eine neue Branche entstanden, die Dienstleistungen und Beratung rund um die Precision-Farming-Technologie anbietet (Kartenerstellung, Probenahme, etc.) und die bei einer Ausbreitung von Precision Farming sicher wachsen wird und somit auch neue Arbeitsplätze schaffen könnte.

#### *Potenzielle ökologische Wirkungen*

Es folgt nun die große Zahl der generell möglichen positiven *ökologischen Wirkungen* des Precision Farming. Diese lassen sich in *biotische (produzierte positive)* und *abiotische (vermiedene negative)* Wirkungen aufteilen.

Tabelle 6. Identifizierung der potenziellen Intangibles des Precision Farming

Beschreibung der Wirkung		Ebene
		Betrieb/Gesellschaft
<b>Nutzen</b>		
<b>1</b>	„Menschliches Wohlergehen“: <ul style="list-style-type: none"> <li>Lebensqualität durch Erholung, Umweltqualität</li> </ul>	Gesellschaft
<b>2</b>	Aufbau von Perspektiven, Entwicklungspotenzial für die Zukunft der Landwirtschaft: <ul style="list-style-type: none"> <li>Technischer Fortschritt auch in der Landwirtschaft</li> <li>Positives Image, Landwirt als „high-tech agrimanager“</li> <li>Motivation für junge Landwirte, weniger Abwanderung aus ländlichen Regionen</li> </ul>	Betrieb/Gesellschaft
<b>3</b>	<b>Förderung des Umweltbewusstseins:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Sensibilisierung für Boden und Pflanze!</b></li> </ul>	Gesellschaft, (Betrieb)

Quelle: Eigene Erstellung nach JÜRGENS und REICHARDT 2005, SOMMER 2005, SCHNEIDER 2005, TÄGER-FARNY 2005

Im Vorgängerforschungsprojekt pre agro I sind bei PLACHTER und JANBEN (2004) im Teilprojekt „Naturschutzziele“ bereits klare Aussagen zu potenziell realisierbaren Naturschutz-Qualitätszielen (NQZ) auf Ackerflächen in Deutschland definiert worden, die mittels Precision Farming zu erreichen sind.

Da die Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming vor allem die ökologische Seite beleuchten möchte, muss an dieser Stelle die Vorstudie von PLACHTER und JANBEN (2004) etwas genauer vorgestellt werden.

*Vorstudie nach PLACHTER und JANBEN (2004): Naturschutzziele*

Im Teilprojekt Naturschutz des pre-agro-I-Projektes wurde der Frage nachgegangen, welche Ziele des Naturschutzes mittels Precision Farming verfolgt werden können und wie das prinzipiell umsetzbar ist. Zu diesem Zweck war es zunächst erforderlich, die prinzipiell auf Ackerflächen gültigen Naturschutzziele zusammenzustellen. Dabei wurde das aus dem technischen Umweltschutz bekannte und bewährte Konzept der Qualitätsziele und Qualitätsstandards gewählt und eine Datenbank von Naturschutzqualitätszielen (NQZ) konzipiert. Die hierin enthaltenen NQZ besitzen auf der Basis von Rechtsnormen einerseits und wissenschaftlichen Erkenntnissen andererseits prinzipiell bundesweite Gültigkeit. Die einzelnen NQZ sind aber nicht automatisch überall relevant und auch die zugehörigen Qualitätsstandards müssen an die konkreten regionalen Situationen angepasst werden. Gleichzeitig wurden nur jene NQZ verwendet, die eine Beziehung zu Precision Farming haben (PLACHTER und JANBEN 2004, S. 164).

Die Zusammenstellung von Naturschutzzielen, die für Ackerflächen gültig und prinzipiell bundesweit einsetzbar sein sollten, führte über eine reine Liste dieser Ziele hinaus. Es zeigte sich, dass diese Zusammenstellung idealerweise in Form einer Datenbank umgesetzt werden kann. Dies erzwingt wiederum die Aufgliederung von komplexen Zielformulierungen in einzelne Kompartimente (eigentliches NQZ, Schutzgüter, Indikatoren, Standards ...). Um diese Kompartimente für die verschiedenen Ziele auf Ackerflächen und darüber hinaus in unterschiedlichen Nutzungsbereichen auf ein einheitliches inhaltliches und hierarchisches Niveau zu bringen, war es erforderlich, für deren Formulierung Kriterien zu entwickeln (PLACHTER und JANBEN 2004, S. 166). Ein wichtiges Merkmal dieser Datenbank ist die in dieser Form erstmalig durchgeführte Synopse „klassischer“ Naturschutzziele (z. B. Schutz

gefährdeter Ackerwildkrautarten) mit häufig als „abiotisch“ bezeichneten Zielen (z. B. Minimierung der Bodenerosion) (PLACHTER und JANBEN 2004, S. 167).

Die erhaltenen NQZ mussten daraufhin mit PF-relevanten Bewirtschaftungsmaßnahmen (Düngung, Saat, Pflanzenschutzmitteleinsatz, Bodenbearbeitung) in Beziehung gebracht werden. So ergaben sich für die Kombination aus den einzelnen NQZ und den landwirtschaftlichen Maßnahmen Bewirtschaftungsmodifikationen (PLACHTER und JANBEN 2004, S. 165). Diese Modifikationen wurden aus zwei Polen entwickelt. Auf der einen Seite steht die Precision-Farming-Technik, die aktuell eine Differenzierung der Aussaat, der Düngung und des Pflanzenschutzmitteleinsatzes erlaubt. Der andere Bereich ist der Erkenntnisstand zum Zusammenhang zwischen den einzelnen landwirtschaftlichen Maßnahmen und ihren Ausprägungen einerseits und dem Zustand von Schutzgütern einerseits (PLACHTER und JANBEN 2004, S. 168). Die ermittelten Modifikationsmöglichkeiten werden in Tabelle 19 im Anhang unter der Spalte Bewirtschaftungsmodus aufgeführt.

Die Lokalisierung der für die Naturschutzziele wichtigen Bereiche auf den Ackerflächen ist eine Aufgabe, die über Regeln, Algorithmen, erfolgt. Die Areale, die bspw. für das NQZ 13 „Schutz gefährdeter Ackerwildkrautarten“ (siehe Tabelle 19 oder Box 7) besonders geeignet sind, lassen sich bei hinreichender Kenntnis der Bodenverhältnisse relativ gut abgrenzen. Es handelt sich zum einen um saure, trockene Standorte, zum anderen um besonders kalkhaltige, ebenfalls tendenziell trockene Böden. Diese beiden Gruppen decken einen großen Teil der selteneren Arten ab (PLACHTER und JANBEN 2004, S. 169).

Analog zur Situation der Segetalflora konnten auch für die auf Ackerflächen wandernden Amphibien, bspw. die Erdkröte (*Bufo bufo*), Grasfrosch (*Rana temporaria*) oder Moorfrosch (*Rana arvalis*) Polygone ermittelt werden, in denen sich die meisten Tiere bewegen (PLACHTER und JANBEN 2004, S. 170).

Neben den Bodenbedingungen, der Bodenbearbeitung, der Saatstärke und dem Düngemiteleinsatz spielen vor allem Herbizidapplikationen eine wesentliche Rolle im Naturschutz. Da Zusammenhänge zwischen Segetalflora und verschiedenen Kompartimenten der Fauna bekannt sind, wurden auch zur Laufkäferfauna und zur Schwebfliegendichte Erfassungen durchgeführt (PLACHTER und JANBEN 2004, S. 172).

So sind in der Version der NQZ-Datenbank bei PLACHTER und JANBEN (2004) 15 Qualitätsziele enthalten, die eine deutliche Beziehung zum Precision Farming haben.

Allerdings ist die Informationssituation zu einigen dieser NQZ nicht ausreichend gewesen, um eine eindeutige Zuordnung zu Modifikationen landwirtschaftlicher Maßnahmen vorzunehmen. An diesen Stellen wurde auf Basis des bekannten Wissens auf Einschätzungen zurückgegriffen (PLACHTER und JANBEN 2004, S. 174). Bei der vergleichenden Betrachtung der zusammengestellten NQZ in Tabelle 19 im Anhang fällt auf, dass bei mehreren Zielen die gleichen Bewirtschaftungsmodifikationen vorgeschlagen werden und z. T. sogar die gleiche oder eine ähnliche Arealformulierung zu finden ist. Zum Teil entstehen diese Überschneidungen durch die Notwendigkeit von Einschätzungen ohne die Möglichkeit, exaktere Vorgaben zu machen. Zum anderen bedeutet dies aber auch, dass durch bestimmte Maßnahmenveränderungen mehrere Ziele gleichzeitig verfolgt werden können. Dies wird als Möglichkeit gesehen, durch eine effiziente Planung mit geringen Mitteln ein Optimum an ökologischen Leistungen der Landwirtschaft zu erreichen (PLACHTER und JANBEN 2004, S. 174).

So greift die hier vorliegende Arbeit auf die bei PLACHTER und JANBEN (2004) beschriebenen 15 NQZ zurück (siehe Tabelle 19 im Anhang). Zusätzlich konnte aber noch ein weiteres Naturschutzqualitätsziel definiert werden, NQZ16, die Anlage von Defektflächen im Ackerschlag zur Ansiedlung der Feldlerche<sup>43</sup> (siehe Box 7).

So werden nun in Box 7 kurz die einzelnen Naturschutzqualitätsziele beschrieben<sup>44</sup>.

Bzgl. Biodiversität können also Schutzziele mittels Precision Farming hauptsächlich zum Schutz und Erhalt von Arten sowie Habitaten erreicht werden (NQZ 8–15). Auch die Anlage von Defektflächen fällt in diesen biotischen Bereich (NQZ 16). Dahingegen lassen sich abiotische ökologische Effekte über vermiedene negative Auswirkungen für den Bodenschutz, bspw. als Minimierung von Erosion und Verdichtung (NQZ 1–2), zur Verringerung chemischer Verunreinigung (NQZ5–6) und zum Wasserschutz darstellen (NQZ 3–4). Eine Übersicht dazu liefert Tabelle 20 im Anhang.

---

<sup>43</sup> auf Basis von Naturschutz-Expertisen im pre-agro-II-Projekt (BERGER UND JÖRNS 2005/6/7)

<sup>44</sup> Eine genauere Beschreibung findet sich in Tabelle 19 im Anhang.

Box 7. Naturschutzqualitätsziele potenzieller Umweltwirkungen des Precision Farming

NQZ1:	Erhaltung des bestehenden Humus- und Torfgehaltes in ursprünglich hydromorphen Böden
NQZ2:	Minimierung der Bodenerosion
NQZ3:	Schutz terrestrischer Biotop vor Nährstoffausträgen aus Ackerflächen
NQZ4:	Schutz von Still- und Fließgewässern vor Nährstoffausträgen aus Ackerflächen
NQZ5:	Minimierung der negativen Effekte von Pflanzenschutzmitteln (PSM) auf den Ackerflächen
NQZ6:	Minimierung der negativen Effekte von PSM auf benachbarte Lebensräume und Landschaftsausschnitte
NQZ7:	Erhalt und Wiederherstellung von standörtlichen Unterschieden und Gradienten auf Ackerflächen
NQZ8:	Schutz von Amphibien auf Ackerflächen in Wanderungszonen und an Rändern
NQZ9:	Schutz von Säugetieren, die auf Ackerflächen vorkommen
NQZ10:	Erhalt der Nahrungshabitatfunktion von Ackerflächen
NQZ11:	Schutz von auf Ackerflächen brütenden Vogelarten an Rändern, in Fenstern im Feld
NQZ12:	Aufbau interner Biotop-Verbundsysteme auf Äckern
NQZ13:	Schutz gefährdeter Ackerwildkrautarten
NQZ14:	Erhaltung und Förderung von Selbstregulationsprozessen auf Ackerflächen durch Prädatoren und Parasitoide an Rändern, in durchgehenden linearen Zonen und sonstigen Zonen auf Ackerflächen
NQZ15:	Erhaltung und Förderung blütenreicher Ackerbereiche. Zonen, die von Wegen aus sichtbar sind an Rand, Kuppe in der Ackerfläche und sonstige Zonen in der Ackerfläche
NQZ16:	Anlage von Defektflächen (künstlich) in Ackerflächen zur Ansiedlung der Feldlerche

Der Erhalt der *Kulturlandschaft* (NQZ 7) mit ihren standörtlichen Gradienten ist dann letztlich als „Zusammenfassung“ ökologisch indirekter Vorteile des Precision Farming herauszustellen.

*Potenzielle Intangibles*

Schließlich fasst die Gruppe der potenziellen *Intangibles des Precision Farming* (siehe Tabelle 6) die wohl tatsächlich nicht monetarisierbaren Wirkungen zusammen. Precision Farming leistet einen positiven Beitrag zur Erhaltung des „*menschlichen Wohlbefindens*“ über gute Umweltqualität, die aufgrund der Vielzahl positiver indirekter ökologischer Wirkungen zu erwarten ist. Aus Gesprächen mit den landwirt-



schaftlich praktizierenden Projektpartnern des pre-agro-II-Projektes sowie aus Umfragen auf der Agritechnica 2001 und 2003 (JÜRGENS und REICHARDT 2005) ergaben sich Vorteile einer Anwendung der Precision-Farming-Technologie im Landbau bzgl. eines Aufzeigens *neuer Perspektiven*, also *Entwicklungspotenzials*, für die Landwirtschaft. Dies wurde als „Horizontenerweiterung“ durch Weiterbildung und Schulungen im technisch-informatischen Bereich bezeichnet. Dadurch kann die Landwirtschaft ein positives Image erreichen. Als „high-tech Agrimanager“ wird der Beruf des Landwirtes für junge Menschen wieder attraktiv. Somit trägt Precision Farming auch erheblich zur Motivation bei, in dem Sektor der Landwirtschaft beruflich tätig zu bleiben.

Als entscheidender Punkt für die Gruppe der Intangibles stellt sich eine deutliche *Förderung des Umweltbewusstseins der Landbewirtschaftler* heraus, die durch die Technologie des Precision Farming hervorgerufen wird. Die von allen Seiten betonte erhebliche *Sensibilisierung der Landwirte* hin zum Boden mit seinen vielfältigen Eigenschaften und zu Pflanzen mit ihren unterschiedlichen Ansprüchen ist der Ansatzpunkt, an dem die Landwirte aktiv an einer Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft mitwirken und sich dessen auch ganz bewusst werden, im Gegensatz zu einer schlag-einheitlichen Bewirtschaftungsweise.

Zusammenfassend lässt sich zur Identifizierung der von einer flächenweiten Einführung des Precision Farming ausgehenden potenziellen Wirkungen sagen, dass die Wirkungskette der direkten-indirekten Wirkungen recht einseitig ist und die landwirtschaftlichen Betriebe mit Aufwendungen (Kosten) wesentlich stärker belastet werden als die Gesellschaft. Direkte Kosten beim Einsatz von Precision Farming zur Nahrungsmittelproduktion fallen auf der Betriebsebene an, die Volkswirtschaft aber scheint von einer Vielzahl von positiven Wirkungen, hauptsächlich Umweltwirkungen, zu profitieren. Ist das so gerechtfertigt?

Bei dieser **rein qualitativen** Betrachtung der Wirkungen des Precision Farming könnte man zu der Feststellung gelangen, dass eine Honorierung der Nutzen, die der Gesellschaft aus Precision Farming entstehen, von volkswirtschaftlicher Seite durchaus gerechtfertigt sei. Das Ungleichgewicht, das deutlich die Produzenten, also die Betriebsebene belastet, könnte hierbei durch Zuwendungen seitens der Gesellschaft, also des Staates, in Form agrarpolitischer Förderung ausgeglichen werden.

Da sich aber die Identifizierung der Wirkungen des Precision Farming auf rein qualitativer Ebene abspielt und zudem einen möglichen „pool“ an Wirkungen darstellt, sind die oben getroffenen Aussagen anhand einer quantitativen Bewertung zu überprüfen. Dies wird nun im Folgenden anhand der schlagspezifischen Bewertung der Wirkungen des Precision Farming für die Fallstudie „Wulfen“ der Jahre 2005–2007 dargestellt.

### **3.4.2 Quantifizierung der Projektwirkungen**

Zur Bewertung der realen direkten Effekte, für die Marktpreise existieren, gehen diese als monetäres Äquivalent in die Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming über. Obwohl strenggenommen, aus theoretischer Sicht, hierzu künstliche Verrechnungspreise, sog. Schattenpreise anzusetzen wären, dies aber dort schon kontrovers diskutiert wurde und im vorliegenden Zusammenhang kaum erforderlich ist<sup>45</sup>, verzichtet die Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming bei der Bewertung der direkten Wirkungen auf Preiskorrekturen.

Stattdessen soll dafür durch eine Sensitivitätsanalyse mit Variation der ausschlaggebenden Inputfaktoren (Kosten und Preise) die Problematik der Preiskorrekturen ausreichend Berücksichtigung finden.

#### **3.4.2.1 Direkte Bewertung**

Zur Bewertung der direkten Wirkungen des Precision Farming in der Fallstudie Wulfen sind Stickstoff-Düngungsversuche auf Winterweizenschlägen des Versuchsbetriebes WIMEX in Sachsen-Anhalt für die Jahre 2005–2007 auf Schlag 432 (93 ha) und Schlag 411 (69 ha) (siehe auch Abbildung 4, Kapitel 3.1) für zwei unterschiedliche Precision-Farming-Strategien: Sensoransatz (Onlineverfahren<sup>46</sup>) und Ertragspotenzialkarte (Offlineverfahren<sup>48</sup>), immer im Vergleich zu flächeneinheitlicher Bewirtschaftung durchgeführt worden. Die Vergleichsstrategie „Konstant“ (siehe Tabelle 7) beinhaltet die flächeneinheitliche Herangehensweise nach Empfehlungen des Pflanzenbauleiters des WIMEX-Betriebes. Die beiden anderen Strategien beinhalten differenzierende Herangehensweisen. Zur Strategie „Karte“ (siehe Tabelle 7) wird

---

<sup>45</sup> Siehe hierzu Kapitel 2.3.6.1

<sup>46</sup> siehe hierzu Kapitel 3.2

das Feld in unterschiedliche Ertragspotenzialzonen unterteilt. Anschließend bleibt die Antwort auf die Frage, welche Entscheidungsregeln auf die einzelnen Zonen angewendet werden können, dem Pflanzenbauleiter überlassen. Durch unterschiedliche Ertragsniveaus in aufeinanderfolgenden Jahren (Witterungseinfluss) ist es problematisch, ein absolutes Ertragsziel zu Beginn der Vegetationszeit zu definieren und die Düngung anschließend danach durchzuführen. Damit kann auf folgende jahresspezifische Klimabedingungen nicht reagiert werden. Beim „Sensor“-Ansatz (siehe Tabelle 7) kommt der Yara-N-Sensor® zum Einsatz. Dieser ist ab der zweiten Stickstoff-Teilgabe einsetzbar. Zu Vegetationsbeginn wird also eine Gabe flächeneinheitlich verabreicht.

Zur Auswertung der Ergebnisse der Feldversuche wird in einem ersten Schritt die um die Kosten des teilflächenspezifisch variierten Faktors reduzierte Marktleistung berechnet. Wie in Tabelle 7 dargestellt, ist das die stickstoffkostenfreie Leistung (NKL). Dadurch ist ein Vergleich der einzelnen Strategien untereinander möglich, der Mehr(Minder)wert der Precision-Farming-Strategien kann quantifiziert werden. Zu diesen Berechnungen wurden jeweils die aktuellen Faktor- und Produktpreise zugrunde gelegt.

Wie in Tabelle 7 ersichtlich, sind die Ergebnisse der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngungsversuche durchmischt. Während beispielsweise die Strategie „Sensor“ jedes Mal ein recht ausgeglichenes Ergebnis liefert, variiert der Kartenansatz deutlich stärker im Ergebnis. In den Versuchsjahren 2006 und 2007 wurden hier sogar Precision-Farming-Verluste im Vergleich zur Strategie „Konstant“ ermittelt.

Tabelle 7. Ergebnisse der differenzierten N-Düngung zu Winterweizen, Wulfen

Feldversuch_Jahr	Strategie	N-Düngung	Ertrag	Produkt-preis Weizen	NKL*
432_2005	Konstant	180 kg/ha	7,63 t/ha	90 €/t	664,0 €/ha
	Sensor	117 kg/ha	7,71 t/ha <sup>a)</sup>		698,0 €/ha
	Karte	148 kg/ha	7,81 t/ha <sup>a)</sup>		681,0 €/ha
411_2006	Konstant	180 kg/ha	6,11 t/ha	115 €/t	620,5 €/ha
	Sensor	164 kg/ha	5,75 t/ha <sup>a)</sup>		621,8 €/ha
	Karte	200 kg/ha	5,69 t/ha		562,0 €/ha
432_2007	Konstant	180 kg/ha	5,68 t/ha	150 €/t	767,9 €/ha
	Sensor	158 kg/ha	5,71 t/ha <sup>a)</sup>		778,2 €/ha
	Karte	162 kg/ha	5,39 t/ha		732,8 €/ha

\*Stickstofffreie Leistung (Umsatz abzüglich der Kosten für Stickstoff), a) keine signifikanten Ertragsunterschiede zu „Konstant“ nachweisbar (Signifikanzniveau:  $p < 0,05$ ). Zur Berechnung aller NKL wurden daher die Ertragsmittelwerte der Strategie „Konstant“ genutzt.

Quelle: SCHNEIDER 2007

Auf der Nutzenseite konnten in den Winterweizen-Feldversuchen in Wulfen auf den Schlägen 432 im Jahre 2005, 411 im Jahre 2006 und 432 im Jahre 2007 Stickstoff(N)-Kosten-Einsparungen und Marktleistungssteigerungen identifiziert und monetär bewertet werden. Die maximale N-Kosten-Einsparung beträgt 42,70 €/ha (im Jahr 2006 für „Sensor“), die minimale sogar eine N-Kosten-Steigerung von 10,20 €/ha für die Precision Farming-Strategie „Karte“ im Jahre 2006 im Vergleich zur flächeneinheitlichen Bewirtschaftung („Konstant“). Dies ist darauf zurückzuführen, dass in diesem Jahr in der Strategie „Karte“ durchschnittlich 20 kg/ha mehr N im Vergleich zu „Konstant“ gedüngt wurde (Tabelle 8). Auch die Mehr-Erträge der Precision-Farming-Strategien sind in den drei Versuchsjahren starken Schwankungen unterlegen. Sie liegen zwischen +0,18 t/ha (2005, „Karte“) und -0,42 t/ha (2006, „Karte“)<sup>47</sup>. So ist eine Marktleistungssteigerung von 16,20 €/ha (2005, „Karte“) bis zu einem Verlust/ha von 48,30 € (2006, „Karte“) zu verzeichnen. Wie dann in Tabelle 8 zu sehen ist, ergibt sich eine Spanne des direkten Nutzens beim Einsatz der Precision-Farming-Technologie von minimal -58,50 €/ha (2006, „Karte“) bis zu maximal +34 €/ha (2005, „Karte“).

<sup>47</sup> Rein statistisch betrachtet, konnten lediglich zur Strategie „Karte“ signifikante Ertragsverluste zu zwei Feldversuchen (2006 und 2007) ermittelt werden. Die Strategie „Sensor“ erreicht in den Versuchen keine signifikanten Ertragssteigerungen (SCHNEIDER 2007 (Tabelle 7<sup>a)</sup>).

Dabei bleiben die direkten jährlichen Kosten für die Anschaffung der Precision-Farming-Technologie über die drei betrachteten Jahre konstant. Sie belaufen sich für den Sensoransatz auf ca. 6.000,- €<sup>48</sup> und für den Kartenansatz auf ca. 3.000,- €<sup>49</sup>. Betrachtet man nun die anfänglichen Anschaffungskosten für die PF-Technik so kommt man zu einem ganz anderen Ergebnis. Für die Variante „Sensor“ muss der Yara-N-Sensor angeschafft werden mit 22.350,- €, dazu kommt noch der jährliche Service mit 800,- €/Jahr. Bei der Variante „Karte“ sind die Anschaffungskosten etwas geringer. Für die Ertragskartierung werden 8.500,- €/Mähdrescher benötigt, für die GIS-Software 1.500,- € und für das Terminal mit GPS 4.800,- €. Kommen noch 2,- €/ha für die Kartenerstellung in Dienstleistung hinzu. Diese Zahlen einmal vor Augen geführt, versteht man die Einwände vieler Landwirte gegenüber den hohen Investitionskosten für die PF-Technik. Sicherlich stellen diese für die meisten landwirtschaftlichen Betriebe eine große Hürde dar. Betrachtet man dann aber die Kosten pro ha umgerechnet, schrumpfen sie für den angenommenen landwirtschaftlichen Betrieb mit 2.000 ha und 1.200 ha PF-Einsatz<sup>50</sup> auf 5,33 €/ha (Sensor) und 4,49 €/ha (Karte).

Wird nun die Summe des direkten Nutzens der Summe der direkten Kosten gegenübergestellt, weist über alle drei Versuchsjahre hinweg keine der beiden Precision-Farming-Strategien einen durchweg positiven direkten Nettonutzen auf. So ist er in 2005 für beide PF-Varianten positiv, in 2006 für beide Varianten negativ und in 2007 für die Sensorvariante knapp positiv, für den Kartieransatz aber deutlich negativ. Der Einsatz dieser Technik unterliegt also starken Schwankungen, die für den errechneten *direkten Nettonutzen* von minimal -63,00 €/ha (2006, „Karte“) bis zu maximal +28,70 €/ha (2005, „Sensor“) reichen. Eine Einstufung einer Precision-Farming-Strategie als „besser“ oder „schlechter“ soll somit aufgrund der präsentierten Ergebnisse nicht vorgenommen werden, da sowohl innerhalb einer Strategie „Karte“ und „Sensor“ sehr große Abweichungen der Werte auftreten. Festzuhalten bleibt allerdings, dass die Strategie „Sensor“ in der Fallstudie Wulfen über die drei Feldversuche in drei Jahren geringere Schwankungen der Werte des direkten Nettonutzen aufweist als bei der Strategie „Karte“.

---

<sup>48</sup> Siehe Tabelle 8, \*\*

<sup>49</sup> Siehe Tabelle 8, \*\*

<sup>50</sup> Siehe Tabelle 8, \*\*\*

Tabelle 8. Bewertung der direkten Wirkungen des Precision Farming

	Direkter Nutzen in €/ha					
Beschreibung der Wirkung	2005		2006		2007	
	Sensor*	Karte*	Sensor*	Karte*	Sensor*	Karte*
N-Kosten Einsparung	26,80	0,80	42,70	-10,20	5,80	8,40
<b>Marktleistungssteigerung</b>	7,20	16,20	-41,40	-48,30	4,50	-43,50
<b>Summe Nutzen in €/ha</b>	<b>34,00</b>	<b>17,00</b>	<b>1,30</b>	<b>-58,50</b>	<b>10,30</b>	<b>-35,10</b>
<b>Direkte Kosten</b>						
Beschreibung der Wirkung	2005–2007					
	Sensor*		Karte*			
<b>Datenerhebungskosten</b>			Anschaffung Ertragskartierung: 8.500 €/Mähdrescher			
<b>Datenverarbeitungskosten</b>	Anschaffung Yara-N-Sensor: 22.350 €; jährlicher Service: 800 €/Jahr		Anschaffung GIS Software: 1.500 €; Kartenerstellung in Dienstleistung: 2 €/ha			
<b>Maßnahmen-durchführungskosten</b>			Anschaffung Terminal mit GPS: 4.800 €			
<b>Summe Kosten in €/Jahr**</b>	<b>6.397,70</b>		<b>3.084,60</b>			
	2005		2006		2007	
	Sensor*	Karte*	Sensor*	Karte*	Sensor*	Karte*
<b>Summe Kosten in €/ha***</b>	<b>5,33</b>	<b>4,49</b>	<b>5,33</b>	<b>4,49</b>	<b>5,33</b>	<b>4,49</b>
<b>Nettonutzen direkt in €/ha</b>	<b>28,70</b>	<b>12,50</b>	<b>-4,00</b>	<b>-63,00</b>	<b>5,00</b>	<b>-39,60</b>

\* Precision-Farming-Strategie

\*\* Berechnung der jährlichen Kosten nach Annuitätenmethode, Abschreibungszeitraum für Hard- und Software 5 Jahre, für Information und Dienstleistung 10 Jahre, 8 % Zinssatz p.a.

\*\*\* Annahme: 2.000-ha-Betrieb mit Precision-Farming-Strategien auf 1.200 ha (60 % der Gesamtfläche)

Quelle: Eigene Erstellung, Berechnung nach Daten von SCHNEIDER 2007

Weiterer Forschungsbedarf bestünde bereits an dieser Stelle. Die oben dargestellten Ergebnisse wären sicherlich noch in weiteren Versuchsreihen zu überprüfen, auch bzgl. einer statistischen Signifikanz von Ertragssteigerungen bzw. Verlusten.

### 3.4.2.2 Indirekte Bewertung

Wie bereits in Tabelle 5 beschrieben wurde, können von einem Einsatz der Precision-Farming-Technologie im Landbau eine Vielzahl von indirekten Wirkungen ausgehen. Diese reichen von ökologischen Wirkungen über Transaktionskosten bis hin zu Auswirkungen auf die Beschäftigung. Da zum einen der Focus der vorliegenden Nutzen-Kosten-Analyse auf der monetären Bewertung von Umweltwirkungen liegt, die von Precision Farming ausgehen, und zum anderen die Kapazitäten innerhalb des bearbeitenden Teilprojektes sehr knapp bemessen waren<sup>51</sup>, konzentrieren sich die Ergebnisse zur indirekten Bewertung innerhalb der Wulfen-Studie ausschließlich auf die Bewertung von Umweltwirkungen. Positive wie negative Transaktionskosten, Beschäftigungswirkungen, aber auch abiotische Umweltwirkungen bzgl. Bodenschutz (NQZ 2) und Wasserschutz (NQZ 3), zu denen keine quantitative Aussage getroffen werden konnten, finden sich unter den Intangibles in Kapitel 3.4.6.

Die Bewertung der Umweltwirkungen ist im Folgenden in zwei Expertenrunden im November 2006 für die Bewirtschaftungsjahre 2005/2006 bzgl. der Getreide-Schläge 231 und 631 in Wulfen und im November 2007 bzgl. Schlag 221 in Wulfen mit Naturschutzexperten des pre-agro-II-Projektes (Teilprojekt 4 Naturschutz, G. Berger und S. Jörns) durchgeführt worden. Über diese Expertise konnten für die Fallstudie Wulfen diejenigen Umweltwirkungen identifiziert werden, die von Precision Farming ausgehen, im Vergleich zu konventioneller Bewirtschaftung. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse 2005–2007 der dort angestellten Nutzwertanalyse findet sich in Tabelle 9. Eine ausführliche Darstellung der Ergebnisse der Expertisen findet sich im Anhang in Tabelle 21.

Grundlage und Basis der Bewertung von Umweltzielen des Precision Farming ist der Katalog von prinzipiell umsetzbaren Zielen des Naturschutzes, die mittels Precision Farming verfolgt werden können (nach PLACHTER und JANBEN 2004, Seite 175–180). Diese Naturschutzziele sind, wie im technischen Umweltschutz allgemein üblich, als Naturschutzqualitätsziele (NQZ) formuliert. Die NQZ und ihre genaue Beschreibung finden sich in Tabelle 19 im Anhang (NQZ Katalog) sowie in Box 7, Kap.3.3.

---

<sup>51</sup> ... und die Autorin dieser Arbeit nicht „alle Probleme der Welt auf einmal abarbeiten kann“.

Die *Bewertung* der Umweltwirkungen bzgl. eines Einsatzes von PF ist schlagspezifisch anhand der nach PLACHTER und JANBEN (2004) aufgestellten NQZ vorgenommen worden. Zusätzlich wurde die zielgerichtete Maßnahme des Teilprojektes 4 („Naturschutz“) im pre-agro-II-Projekt, die Anlage von künstlichen Defektflächen in Wintergetreidekulturen als Lebensraum für Feldlerche (BERGER und JÖRNS 2007), bewertet, im Folgenden NQZ 16 genannt. Für diese Maßnahme werden die Precision-Farming-Instrumente gezielt angepasst und genutzt. Auf intensiv bewirtschafteten Wintergetreideschlägen werden künstlich kleinflächige Defektflächen für Feldvögel wie z. B. Feldlerche als Brut- und Nahrungshabitate angelegt.

Im Folgenden wird also zur Bewertung der indirekten Umweltwirkungen des Precision Farming in der Wulfen-Studie von 16 potenziell möglichen NQZ ausgegangen. Die Bewertung der Erreichbarkeit der NQZ mit und ohne Einsatz von Precision Farming für die Wulfen-Studie erfolgte anhand folgender *Zielerreichungsgrade* (ZEG)<sup>52</sup>:

- 0 nicht erreicht, keine Wirkung
- 1 gering
- 2 mäßig
- 3 mittel
- 4 hoch
- 5 sehr hohe Erreichung des jeweiligen Naturschutzqualitätszieles
- / keine Aussage möglich
- nicht relevant

Auf den Versuchsschlägen der Wulfen-Studie sind von den Naturschutzexperten des pre-agro-II-Projektes auf Schlag 231, 631 und 221 vorwiegend positive biotische Umweltwirkungen identifiziert worden, die von einem Einsatz des Precision Farming ausgehen (siehe Tabelle 9). Der Erhalt der Kulturlandschaft (NQZ 7), aber auch der Erhalt der Nahrungshabitatfunktion von Ackerflächen (NQZ 10) sowie der Aufbau interner Biotop-Verbundsysteme auf Äckern (NQZ 12) und die Erhaltung und Förderung von Selbstregulationsprozessen auf Ackerflächen durch Prädatoren und Parasitoide (NQZ 14) zeigen einen mittleren positiven Mehrwert  $\Delta$  ZEG<sup>53</sup> des Precision

---

<sup>52</sup> Es stellte sich also die Frage, wie hoch die Erreichung der einzelnen NQZ ist.

<sup>53</sup>  $\Delta$  ZEG beschreibt den Mehrwert der Precision-Farming-Variante gegenüber konventioneller, also flächeneinheitlicher Landbewirtschaftung ohne Precision-Farming-Technologie.  $\Delta$  ZEG wird aus



Farming von 0,5 bis 1,5. Eine relativ hohe biotisch-ökologische Wirkung wird durch den Einsatz von Precision Farming im Wintergetreide bei NQZ 15 und 16 erzielt ( $\Delta$  ZEG 1,5 bis 3,0). Blütenreiche Ackerbereiche können somit also als deutlich positiv von Precision Farming erhalten und gefördert angesehen werden. Gleiches gilt für die Ansiedlung der Feldlerche mithilfe künstlicher Defektflächen. Der Schutz gefährdeter Ackerwildkrautarten fällt durch Precision Farming deutlich weniger positiv beeinflusst aus als erwartet. Mit einem  $\Delta$  ZEG von 0 bis 1,0 kann man sogar von einem geringen Mehrwert des Precision Farming bzgl. NQZ 13 sprechen.

Keine Wirkung konnte bzgl. NQZ 11, dem Schutz von auf Ackerflächen brütenden Vogelarten (ohne Anlage von künstlichen Defektflächen!) festgemacht werden. NQZ 8 und 9 (Schutz von Amphibien und Säugetieren) sind auf den Versuchsflächen der Wulfen-Studie nicht relevant und somit aus der Bewertung gefallen.

Auf der abiotischen Seite halten sich die positiven Auswirkungen des Precision Farming im Vergleich zur Biotik eher bescheiden. Die Minimierung negativer Effekte von Pflanzenschutzmitteln auf Nutzflächen (NQZ 5) und benachbarte Lebensräume (NQZ 6) ist teilweise nicht relevant oder variiert von 0,5 bis 1,5  $\Delta$  ZEG. Ganz aus der Bewertung fallen NQZ 1 bis NQZ 4 (Erhaltung Bodenfruchtbarkeit, Minimierung Bodenerosion, Schutz Biotope/Gewässer vor Nährstoffausträgen aus Ackerflächen), da sie teilweise für Wulfen nicht relevant waren oder keine Aussagen von den Naturschutzexperten getroffen werden konnten.

Negative Umweltwirkungen, also indirekte Kosten, konnten innerhalb der Expertise nicht identifiziert werden.

---

der *Differenz* des von den Experten bewerteten Zielerreichungsgrades (ZEG) für die jeweilige Umweltwirkung (NQZ) für den jeweiligen Schlag „mit PF“ und „ohne PF“ errechnet. Eine genaue Darstellung der Expertise findet sich im Anhang in Tabelle 21.

Tabelle 9. Ergebnisse Expertise Naturschutzbewertung, Wulfen, 2005–2007

NQZ	Beschreibung Naturschutzqualitätsziel (NQZ)			Zielerreichungsgrad (ZEG)		Insgesamt welche Wirkung? positiv (+), negativ (-), keine (0)
				2005–2006	2007	
				$\Delta$ ZEG <sup>*a</sup>	$\Delta$ ZEG <sup>*</sup>	
5	Minimierung negativer Effekte von PSM <sup>**</sup> auf Nutzflächen	5.1	Herbizid	nicht relevant	0,5	(+)
		5.2	Insektizid	nicht relevant	1,5	(+)
6	Minimierung negativer Effekte von PSM auf benachbarte Lebensräume und Landschaftsausschnitte			1	0,5	(+)
7	Erhalt der Kulturlandschaft			1,5	0	(+)
10	Erhalt der Nahrungshabitatfunktion von Ackerflächen			1	1	(+)
11	Schutz von auf AF <sup>**</sup> brütenden Vogelarten	11.1	An Rändern	nicht relevant	nicht relevant	nicht relevant
		11.2	Fenster im Feld	0	0	(0)
12	Aufbau interner Biotop-Verbundsysteme auf Äckern			1	0,5	(+)
13	Schutz gefährdeter Ackerwildkrautarten			1	0	(+)
14	Erhaltung und Förderung von Selbstregulationsprozessen auf Ackerflächen durch Prädatoren <sup>**</sup> und Parasitoide <sup>**</sup>			1,5	1	(+)
15	Erhaltung und Förderung blütenreicher Ackerbereiche			2,5	1	(+)
16	Schaffung von Habitatvoraussetzungen für Feldlerchen	16.1	Erstbrut	1,5	1	(+)
		16.2	Zweitbrut		3	

\*  $\Delta$  ZEG = Mehrwert des Precision Farming Einsatzes, Differenz aus ZEG „mit PF“ und „ohne PF“

<sup>\*a</sup>  $\Delta$  ZEG aus Mittelwert der ZEG von Schlag 231 und 631 errechnet, Details siehe Anhang Tabelle 21

<sup>\*\*</sup> PSM: Pflanzenschutzmittel, AF: Ackerflächen,

Prädatoren: Beutegreifer. Als Beispiel seien Spinnen genannt, die Prädatoren einer Vielzahl verschiedener Insektenarten, wie etwa Blüten besuchender Fluginsekten, sind.

Parasitoide: Organismen, die in direktem Kontakt von anderen Organismen (Wirt) leben, wobei der Wirt abstirbt, allerdings erst dann, wenn die Entwicklung des Parasitoiden gesichert ist.

In der vorliegenden ökologisch orientierten Nutzen-Kosten-Analyse ist für die indirekten Umweltwirkungen eine direkte Quantifizierung nicht möglich. Für die einzelnen Umweltwirkungen und Güter existieren keine Märkte und somit auch keine Preise. Sie können deshalb nur über Näherungslösungen monetär bewertet werden, bspw. über die Methode der kontingenten Bewertung (Contingent Valuation Method, CVM<sup>54</sup>). Der Vorteil der Bewertung von Umweltgütern über die CVM liegt darin, dass die Zahlungsbereitschaft nach einem Umweltgut *direkt* durch Befragung ermittelt wird und nicht über Wertschätzungen aus beobachtbaren Transaktionen auf dem Markt für ein privates Gut (substitutiv oder komplementär) abgeleitet wird, wie bspw. bei der Reisekostenmethode oder den hedonischen Preisen. Der direkte Bewertungsansatz durch die CVM zeichnet sich aber vor allem dadurch aus, dass er das einzige Konzept darstellt, mit dem *Existenz- und Vermächtniswerte* erfasst und berücksichtigt werden können (KÄMMERER 1995, S. 182).

Wie bereits erwähnt, konnten aus Kostengründen zu den in Wulfen identifizierten zehn durch Precision Farming positiv beeinflussten Umweltwirkungen (siehe Tabelle 9) keine eigenständigen CVM-Befragungen durchgeführt werden. Mit Hilfe des *Benefit Transfer* aber, einer kosten- und zeiteffizienten Methodik zur Umweltbewertung, konnte dann doch eine (sehr vorsichtige) monetäre Bewertung der Umweltwirkungen des Precision Farming für die Nutzen-Kosten-Analyse erfolgen.

### *Benefit Transfer*

Benefit Transfer bezeichnet eine Methode, die monetäre Werte für Umweltgüter dadurch ermittelt, dass sie frühere Studien analysiert und deren ermittelte Werte mit mehr oder weniger aufwendigen Korrekturverfahren auf die aktuelle Bewertungssituation überträgt (WILSON und HOEHN 2006, S. 335). Hierbei werden also die ermittelten Nutzenwerte bzw. Zahlungsbereitschaften aus Primärstudien einer ursprünglichen Situation (study site) auf eine neue, aber themenverwandte Situation (policy site) übertragen (MUTHKE 2001, S. 270). Damit stellt der Benefit Transfer (BT) ein klassisches Beispiel für die Anwendung von Sekundärdaten auf eine neue Fragestellung dar (THIELE und WRONKA 2001, S. 3 f.).

Der Transfer der Nutzenwerte (unit values) kann einmal *direkt* erfolgen (unit transfer) oder über die *Nachfragefunktion* für die Umweltgüter (function transfer) (SPASH

---

<sup>54</sup> Erläuterung der CVM siehe Kapitel 2.3.6.3

und VATN 2006, S. 380). Der direkte Benefit Transfer (unit transfer) ist die älteste, einfachste und schnellste Übertragungsmethode (MUTHKE 2001, S. 272). Die Unzulänglichkeit dieses Verfahrens liegt darin, dass der geschätzte Wert als Konstante übertragen wird und somit Einflüsse individueller oder ortsspezifischer Charakteristika der policy site ignoriert. Beim function transfer können durch Übertragung der Bewertungsfunktionen die ausschlaggebenden Charakteristiken der policy site implizit berücksichtigt werden (THIELE und WRONKA 2001, S. 4). Dennoch gibt es auch beim function transfer eine Reihe von Fehlerquellen, die die Validität und Zulässigkeit des Benefit Transfer einschränken. Problematisch ist, dass oftmals von einer linearen Beziehung zwischen Nutzenwerten und Determinanten ausgegangen wird. Zudem entspricht auch der function transfer keiner korrekten Wohlfahrtsanalyse, da keine individuellen Präferenzen Berücksichtigung finden<sup>55</sup>. Ein weiteres wichtiges Problem ist die eingeschränkte Datenverfügbarkeit wichtiger Determinanten der Nutzenwerte (THIELE und WRONKA 2001, S. 4 f.).

In der Literatur ist der Benefit Transfer trotz einer Vielzahl von Anwendungen nicht unumstritten. In einer vergleichenden Untersuchung bei THIELE und WRONKA (2001, S. 19) wurden Transfer-Fehler zwischen 1 und über 400 % gefunden. In den meisten Fällen der Transfers blieb jedoch der Transfer-Fehler unter 50 %. Einige Forschungsarbeiten formulierten daher Kriterien, die für einen guten Transfer erfüllt sein müssen. Laut LOOMIS und ROSENBERGER (2006, S. 345 f.) müssen zunächst die Primärstudie und die angestrebte policy site unter drei Hauptaspekten ähnlich sein oder entsprechend angepasst werden und zwar bzgl. des *Umweltgutes*, der *Marktsituation* und des *Wohlfahrts(nutzen)maßes*. SPASH und VATN (2006, S. 381 ff.) gehen sogar über die Ökonomie hinaus und schließen in ihren Kriterienkatalog die *Naturwissenschaften* und *sozioökonomische Faktoren* mit ein.

So verwundert es nicht, dass ROSENBERGER und STANLEY (2006, S. 372) folgende Hauptfehlerquellen beim Transfer beschreiben. Der erste ist der *Verallgemeinerungsfehler*. Ursache sind Unterschiede in study und policy site. Je ähnlicher aber study und policy site in physischen und ökonomischen Bewertungscharakteristika, umso kleiner wird statistisch erwiesen der Transfer-Fehler sein. Als zweites verweisen sie auf *Messfehler (Befragung, Beprobung)* in den Primärstudien. Die dritte Transfer-

---

<sup>55</sup> Es wird angenommen, dass Personen mit gleichen Charakteristiken die gleiche Wertschätzung haben.

Fehlerquelle bezieht sich auf die *Veröffentlichung* der Primärstudien. Die genaue und ausführliche Darstellung der Studien mit allen wichtigen Bewertungskriterien in internationalen Journals leidet enorm unter dem Interesse der Journals, verstärkt Erkenntnisse zu methodischen Innovationen publizieren zu wollen. Eine ausführliche Beschreibung der Primärstudie ist aber Voraussetzung, um erst einmal die Güte einer Studie zu erkennen und dann im positiven Falle anhand der genau dokumentierten Bewertungscharakteristika festzustellen, ob die vorliegende Studie überhaupt auf die policy site passt<sup>56</sup>. Einen Ausweg aus diesem Dilemma könnten neuartige „E-Journals“ bieten, die sich auf Veröffentlichung zu Nutzenbewertung und Transfer spezialisieren.

Im Internet findet man bereits mehrere Online-Datenbanken, die Umweltbewertungsstudien sammeln und darstellen zur Unterstützung des Benefit transfers, der in der anglo-amerikanischen Politik deutlich an Beliebtheit gewinnt (MC COMB et al. 2006, S. 461). MC COMB et al. (2006, S. 462 ff.) verweisen auf vier große und zehn kleine Datenbanken<sup>57</sup>. Aufgrund der großen Popularität von monetären Umweltbewertungsverfahren in Nordamerika kommt der Großteil der Studien aus dieser Region.

Leider konnten aus diesen Online-Datenbanken keine passenden Studien zur monetären Bewertung der Umweltwirkungen des Precision Farming in Deutschland gefunden werden. Trotz der Untersuchungen von READY und NAVRUD (2006, S.429 ff.), die statistisch belegen, dass internationale Benefit Transfers genauso valide sind wie nationale Transfers<sup>58</sup>, wurden zum Benefit Transfer innerhalb der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming deutsche Referenzstudien herangezogen. Diese sollten so gut wie irgend möglich auf die Umweltwirkungen des Precision Farming passen, und zwar in erster Linie im zu bewertenden Umweltgut. Aktualität und Güte der Studie bzw. Durchführung der Studie erscheinen dabei ebenso wichtig, da in der Literatur immer wieder hingewiesen wird: „*There exists an inextricable relationship*

---

<sup>56</sup> bzgl. der bereits formulierten Anpassungskriterien

<sup>57</sup> siehe dazu MC COMB et al. 2006, S. 462 f., Tabelle 1 und 2. Die größeren Datenbanken sind: EVRI, Environmental Valuation Reference inventory, [www.evri.ca](http://www.evri.ca); Envalue, New South Wales Environment Protection Authority, [www.epa.nsw.gov.au/envalue](http://www.epa.nsw.gov.au/envalue); Ecosystem Services Database, Gund Institute for Ecological Economics, university of Vermont, [esd.uvm.edu](http://esd.uvm.edu); Review of Externality Data, European Commission, [www.red-externalities.net](http://www.red-externalities.net).

<sup>58</sup> Der durchschnittliche internationale Transfer-Fehler beträgt in den Untersuchungen von READY und NAVRUD (2006, S. 433) 38 %. Über ein Drittel der untersuchten Transfers verzeichnete einen Transfer-Fehler unter 50 %.

*between non-market benefit estimation and benefit transfer techniques. Benefit transfers can only be as accurate as the initial benefit estimate*” (BROOKSHIRE und NEILL, 1992 in WILSON und HOEHN 2006, S. 336).

Der Benefit Transfer innerhalb der Umweltbewertung des Precision Farming basiert auf dem direkten Transfer, dem unit transfer. Trotz der höheren Wahrscheinlichkeit von Transferfehlern wurde sich für diese Art der Nutzenübertragung entschieden, da teilweise Daten zur Übertragung von Nutzenfunktionen nicht zur Verfügung standen und der Zeit- und Kostenfaktor eine erhebliche Rolle spielte. Zudem weist MUTHKE (2001, S. 289) darauf hin, dass auch der direkte Benefit Transfer als „*angemessenes Näherungsverfahren akzeptabel erscheinen kann*“, wenn es um die Vorabbewertung von umweltrelevanten Projekten im Rahmen von Nutzen-Kosten-Analysen geht, wie im Falle der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming. Etwaige Genauigkeitsdefizite empfiehlt MUTHKE (ebd.) durch Sensitivitätsanalysen zu kontrollieren, die für diese Studie ohnehin vorgesehen sind und in Kapitel 3.4.3 dargestellt werden.

Aufgrund unterschiedlicher Szenarien oder Befragungsorte eines bestimmten Umweltgutes in einer Primärstudie finden sich meist mehrere durchschnittliche Nutzenwerte als Ergebnis. Diesem wird beim Benefit Transfer des Precision Farming dahingehend Rechnung getragen, dass kein durchschnittlicher gesamter Nutzenwert übertragen wird, sondern der Minimum-Wert und Maximum-Wert der study site. Dabei wird der durchschnittliche Nutzen direkt übertragen. Hierfür sind bzgl. der Zahlungsbereitschaftsstudien die Nutzenwerte in €/ha umgerechnet worden. Zuletzt erfährt der übertragene Nutzen eine Art „Anpassung“ oder besser, Gewichtung. In die letztliche monetäre Bewertung des durch Precision Farming positiv beeinflussten Umweltgutes geht nur dessen Mehrwert ( $\Delta$  ZEG) ein<sup>59</sup>. Nicht die Umweltwirkung an sich muss bewertet werden, sondern deren durch Precision Farming verursachter Mehrwert. Alles andere wäre eine fahrlässige Überbewertung. Aus der Nutzwertanalyse lassen sich sechs Stufen ableiten, ZEG 0 bis 5. So erfolgt die Anpassung über 1/6 jeweils des Minimum und Maximum-Wertes der study site multipliziert mit dem Mehrwert ZEG für die jeweilige Umweltwirkung. So könnte man den BT des Precision Farming schon fast als *Adjusted Benefit Transfer*, als systematisch angepassten BT (MUTHKE 2001, S. 274) bezeichnen.

---

<sup>59</sup> da das Umweltgut auch bei der Variante „ohne Precision Farming“ vorhanden ist.

Im Anhang in Tabelle 22 und Tabelle 23 wird für alle relevanten identifizierten Umweltwirkungen des Precision Farming der Benefit Transfer mit Anpassung und Berechnung im Detail dargestellt. Dabei werden auch die Primärstudien stichpunktartig mit den wichtigsten Bewertungscharakteristika incl. Quelle beschrieben.

#### *Benefit Transfer für Precision Farming*

Zur Veranschaulichung sei nun der Benefit Transfer zur monetären Bewertung einer durch Precision Farming positiv beeinflussten Umweltwirkung, NQZ 13, der Schutz gefährdeter Ackerwildkrautarten, für das Jahr 2005–2006 (siehe Tabelle 22 im Anhang) näher beschrieben und erläutert.

Als Primärstudie wurde die Studie von KLEMENS KARKOW (2003), *Wertschätzung von Besuchern der Erholungslandschaft Groß Zicker auf Rügen für naturschutzgerecht genutzte Ackerstandorte in Deutschland*, ausgewählt. Nach genauer Prüfung deutscher Studien und anderen monetären Wertschätzungen von Umweltgütern in der Literatur<sup>60</sup> wurde diese Studie als am genauesten beschrieben<sup>61</sup>, aktuell, korrekt und richtig bearbeitet und am besten zu NQZ 13 und NQZ 15 passend ausgewählt.

Die Studie von KARKOW (2003) befasst sich mit ökologischen und ökonomischen Aspekten naturschutzgerecht bewirtschafteter Ackerstandorte am Beispiel der Ackerflächen der Halbinsel Groß Zicker im Biosphärenreservat Südost-Rügen. Mit Hilfe von Befragungen nach der Contingent-Valuation-Methode auf Rügen (Urlauber) und in Berlin soll die Wertschätzung der Bevölkerung für solche Ackerflächen erfasst werden (KARKOW 2003, S. 2). Zur Bewertung wurde den Befragten folgendes Szenario vorgestellt:

*10 % aller Ackerstandorte in Deutschland würden nach Naturschutzgesichtspunkten so in der Bewirtschaftung umgestellt, dass sich auf diesen eine reichhaltige, an den entsprechenden Standort angepasste **Ackerwildkrautflora** entwickeln kann. Weiterhin sollten diese Standorte gleichmäßig in Deutschland verteilt sein, so dass jeder Befragte von dieser Maßnahme einen persönlichen Nutzen hätte, nämlich farbenprächtige, artenreiche Äcker als Erholungslandschaft in erreichbarer Nähe des jeweiligen Wohnortes. Als Zahlungsinstrument wurde ein Jahresbeitrag in einen Na-*

---

<sup>60</sup> siehe dazu bspw. die Aufstellungen bei DEGENHARDT und GRONEMANN (2000, S. 5 und 7)

<sup>61</sup> Die gesamte Studie lag vor und nicht nur Auszüge aus Veröffentlichungen.

*turschutzfond gewählt, über den am Programm teilnehmende Landwirte für entstehende Verluste entschädigt werden (KARKOW 2003, S. 34).*

Die Befragung auf Rügen wurde direkt an einem blütenreichen Acker während der Blütezeit der auffälligsten Ackerwildkräuter von Juni bis Juli durchgeführt (KARKOW 2003, S. 3). In Berlin wurden den Befragten zur Verdeutlichung zwei Fotos mit einem intensiv bewirtschafteten und einem blütenreichen Acker vorgelegt. Somit unterscheiden sich die beiden Befragungen lediglich in der Umgebung. Der Fragenblock zur Zahlungsbereitschaft wurde in beiden Umfragen identisch gewählt.

In Tabelle 10 sind die Ergebnisse zur Zahlungsbereitschaft, die Umstellung von 10 % der Ackerstandorte in Deutschland auf eine Ackerwildkraut-gerechte Nutzung zu unterstützen, gegenübergestellt. Es ergibt sich zwischen den Umfragen in Berlin und auf Rügen ein recht unterschiedliches Bild. Grundsätzlich zahlungsbereit sind in Berlin 31,7 % und auf Rügen 62,7 % der Befragten. Die durchschnittliche Höhe der **Zahlungsbereitschaft** (sämtlicher befragter Personen) beträgt in **Berlin 19,29 €/Haushalt** und auf **Rügen 44,45 €/Haushalt** (KARKOW 2003, S. 67). Die Befragung implizierte eine überwiegend nutzenabhängige Wertschätzung der Befragten. Bewertet wurde vor allem die Bereitstellung einer Erholungslandschaft durch den Landwirt (KARKOW 2003, S. 87).

Tabelle 10. Vergleich der Zahlungsbereitschaft Berlin/Rügen, Studie KARKOW (2003, S. 67)

	<b>Berlin</b>	<b>Rügen</b>
<b>Grundsätzlich zahlungsbereit</b>	31,7 %	62,7 %
	N = 164	N = 94
<b>Höhe der Zahlungsbereitschaft aller Befragten</b>	<b>Ø = 19,29 €/Hh*</b>	<b>Ø = 44,45 €/Hh*</b>
	Median = 0,00 €	Median = 25,00 €
	N = 517	N = 150
*Hh: Haushalt		



Die Tendenz der Unterschiede zwischen den Befragungen in Berlin und auf Rügen war vorherzusehen. Auf Rügen wurden durch die Auswahl der Zielgebietsbefragung im Durchschnitt zahlungskräftigere und stärker naturbegeisterte Personen erwartet. Aus Berlin liegt eine für Berlin repräsentative Bevölkerungsumfrage mit 517 verwertbaren Interviews vor, auf Rügen waren das 150. Bei der Suche nach einer Erklärung der ermittelten Unterschiede aus den Befragungsdaten konnte kein eindeutiges Merkmal gefunden werden (KARKOW 2003, S. 68).

Als relevanten Wert für den Benefit Transfer im Precision Farming auf NQZ 13 (Schutz gefährdeter Ackerwildkrautarten durch Reduktion der Saatstärke und Verzicht auf Herbizide)<sup>62</sup> wird nun als Minimum-Wert die Zahlungsbereitschaft aus Berlin (19,29 €/Hh<sup>63</sup>) und als Maximum-Wert die Zahlungsbereitschaft aus Rügen (44,45 €/Hh) übertragen.

Nun erfolgt die Umrechnung des Min-Wertes von € pro Haushalt in € pro Hektar Ackerfläche. Aus der Statistik (STATISTISCHES BUNDESAMT DEUTSCHLAND 2008, Statistisches Jahrbuch für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der BRD 2005) ergibt sich für 2003 eine Anzahl von 38,944 Mio. Haushalten in Deutschland (2003). Die Anzahl aller Haushalte wurde nun mit dem Min-Wert €/Hh multipliziert und die daraus resultierenden 751,23 Mio. € auf die Ackerfläche in Deutschland (2003) 11,827 Mio. ha umgelegt. Daraus ergibt sich für den Schutz gefährdeter Ackerwildkrautarten in Deutschland ein Minimum-Wert von 63,52 €/ha. Analog zu obigem Rechnungsweg ergibt sich für NQZ 13 ein Maximum-Wert von 146,37 €/ha. Da aber nur der Mehrwert, den Precision Farming als NQZ 13 ausübt, ins Gewicht fällt, wird nun noch der Mehrwert der Zielerreichungsgrade aus der Expertise zur Nutzwertanalyse (siehe Tabelle 11) berücksichtigt. Die Gewichtung richtet sich nach der 6-stufigen Bewertungsskala der ZEG, 0 bis 5. Folglich wird der Min/Max-Wert durch 6 geteilt und mit dem Mehrwert ZEG für die jeweilige Umweltwirkung (NQZ) für das jeweilige Jahr multipliziert<sup>64</sup>. So ergibt sich für unser Beispiel ein **Minimum-Wert** von **10,59 €/ha** und ein **Maximum-Wert** von **24,39 €/ha** für die monetäre Bewertung des **Schutzes gefährdeter Ackerwildkrautarten**.

---

<sup>62</sup> siehe Tabelle 22 und Tabelle 23 im Anhang

<sup>63</sup> Hh= Haushalt

<sup>64</sup>  $63,25 \text{ €/ha} : 6 (\text{ZEG}) = 10,59 \text{ €/ha} \times 1,0 (\Delta \text{ ZEG für NQZ 13}) = 10,59 \text{ €/ha (Minimum)}$

Leider konnten nicht zu allen identifizierten Umweltwirkungen des Precision Farming in der Wulfen-Studie so gut passende und aktuelle Zahlungsbereitschaftsstudien gefunden werden wie die oben beschriebene Karkow-Studie. Um aber dennoch alle identifizierten Precision Farming-Umweltwirkungen monetär bewerten zu können, damit der Wert der positiv beeinflussten Umwelt auch relevant in die Nutzen-Kosten-Analyse einfließen kann, wurden auch ältere CVM-Studien und monetäre Äquivalente aus Prämienzahlungen in Agrarumweltmaßnahmen zur Bewertung herangezogen.

Das Heranziehen einer zweiten Bewertungsmethode in Nutzen-Kosten-Analysen als Expertenbewertung ist nicht unüblich, muss aber an dieser Stelle kurz kommentiert werden. Die CVM enthält die Konsumentenrente, die Daten, die aus Tarifen in Agrarumweltmaßnahmen abgeleitet werden natürlich nicht. Sie sind zudem kostenorientiert und spiegeln die Meinung von Behörden wider, deren Bewertungskompetenz keineswegs über aller Kritik steht. Trotzdem sind die beiden Ansätze zur Bewertung herangezogen worden, weil dies einerseits mit den gegebenen Kapazitäten die einzige Möglichkeit, war die weiteren sieben identifizierten Naturschutzwirkungen des Precision Farming monetär zu bewerten und in die Berechnung des Nettonutzen mit einfließen zu lassen. Andererseits werden die berechtigten methodischen Zweifel dieser „Vermischung“ sicherlich abgemildert durch die letztliche Darstellung der Ergebnisse der Quantifizierung, bzw. des Nettonutzen in vier Bewertungsstufen mit zunehmendem Unsicherheitsfaktor.

So ergibt sich die in Tabelle 11 zusammengefasste monetäre Bewertung der in Wulfen identifizierten Umweltwirkungen<sup>65</sup>. Die monetäre Bewertung aller relevanten Umweltwirkungen der schlagspezifischen Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming ist hier mit ihrem Minimum- und Maximum-Wert jeweils für die Befragungsjahre 2005/06 und 2007 abgebildet.

Indirekte Umweltwirkungen auf der Kostenseite ließen sich über alle drei Jahre nicht feststellen. Vom Einsatz der Precision-Farming-Technologie im Landbau gehen also keine negativen Umweltwirkungen aus, die als Kosten zu berücksichtigen wären.

---

<sup>65</sup> Eine detaillierte Aufstellung findet sich im Anhang in Tabelle 22 und Tabelle 23.

Tabelle 11. Quantifizierung der indirekten Wirkungen des Precision Farming, Wulfen-Studie

Beschreibung der Wirkung		2005–2006 (Schläge 231, 631)				2007 (Schlag 221)			
NQZ*	Indirekter Nutzen	Min €/ha	in	Max €/ha	in	Min €/ha	in	Max €/ha	in
5	Minimierung negativer Effekte von PSM auf Nutzflächen	nicht relevant		nicht relevant		21,31		43,33	
6	Minimierung negativer Effekte von PSM auf benachbarte Lebensräume und Landschaftsausschnitte	21,31		43,33		10,65		21,67	
7	Erhalt der Kulturlandschaft	4,78		26,72		/		/	
10	Erhalt der Nahrungshabitatfunktion von Ackerflächen	21,31		43,33		21,31		43,33	
12	Aufbau interner Biotop-Verbundsysteme auf Äckern	21,31		43,33		10,65		21,67	
13	Schutz gefährdeter Ackerwildkrautarten	10,59		24,39		/		/	
14	Erhaltung und Förderung von Selbstregulationsprozessen auf Ackerflächen durch Prädatoren* und Parasitoide*	31,96		64,70		21,31		43,33	
15	Erhaltung und Förderung blütenreicher Ackerbereiche	15,88		36,59		10,59		24,39	
16	Schaffung Habitatvoraussetzungen für Feldlerchen	37,50		87,50		50,00		116,67	
	<b>Summe Nutzen indirekt in €/ha</b>	Keine simple Aggregation! Berechnung in vier Bewertungsstufen, siehe nachfolgend Tabelle 12							
<b>Indirekte Kosten</b>									
	Keine negativen Umweltwirkungen								
	<b>Summe Kosten indirekt in €/ha</b>	0		0		0		0	
* NQZ: Naturschutzqualitätsziel									

Im Vergleich zur Bewertung der direkten Wirkungen schneiden die indirekten Wirkungen über alle drei Jahre positiv ab. Der Nutzen für die einzelnen Umweltwirkungen des Precision Farming variiert von minimal 4,78 €/ha (2005/06 für NQZ 7) bis zu maximal 116,67 €/ha (2007 für NQZ 16).

Wie bereits in Kapitel 3.1 erläutert, erfolgt die Berechnung des Nettonutzens der indirekten Wirkungen des Precision Farming (indirekter Nutzen) nicht einfach per Aggregation aller in Tabelle 11 dargestellten Umweltwirkungen, sondern in einem vierstufigen System, um den Grad der „Sicherheit/Unsicherheit“ der Bewertung deutlich zu machen. Ganz bewusst wird hier die Spannweite aufgezeigt, in der sich die indirekte Bewertung bewegt, nämlich von Stufe I (sicher) bis Stufe IV (relativ unsicher). Dabei geht der sichere monetäre Wert aus Stufe I als Minimum in die letztliche Berechnung des indirekten Nutzens bzw. Nettonutzens ein und der monetäre Wert aus Stufe IV als relativ unsicherer Maximum-Wert, der aber durchaus als realistisch eingestuft werden kann.

Bereits an dieser Stelle muss darauf hingewiesen werden, dass die in Tabelle 11 und Tabelle 12 dargestellte monetäre Bewertung der Umweltwirkungen des Precision Farming **nicht** als „bare Münze“, **als allgemeingültiger Wert** angesehen werden darf. Sie soll lediglich eine Tendenz, eine Richtung zeigen, ausgedrückt als Spannweite der Bewertungsstufen I bis IV.

Die Bewertung in *Stufe I* basiert auf aktuellen, genau auf das zu bewertende NQZ passenden CVM-Studien. Dies trifft für die Studie KARKOW (2003) zu, die Grundlage der Bewertung für NQZ 13 und NQZ 15 (Ackerwildkräuter) bildet (siehe Tabelle 12). In *Stufe II* wird noch zusätzlich zu NQZ 13 und 15 NQZ 7 zur Berechnung des indirekten Nutzens hinzugezogen. Die Bewertung des Erhalts der Kulturlandschaft ganz allgemein (NQZ 7) basiert dabei auf den CVM-Studien von Jung (1996) und KÄMMERER et al. (1996). Obwohl diese Referenz-Studien nicht mehr so aktuell sind und nicht ganz genau auf NQZ 7 übertragbar sind, da der Erhalt der Kulturlandschaft bei JUNG (1996) und KÄMMERER et al. (1996) für ganz bestimmte Regionen untersucht wurde, kann die Bewertung in dieser Stufe II noch als relativ sicher gelten. Die Bewertung in *Stufe III* stellt eine Erhöhung der Unsicherheit dar, da noch zusätzlich NQZ 16 (Ansiedlung Lerche) in die Berechnung des indirekten Nutzens mit einbezogen wird. Zur Ansiedlung der Lerche konnte aber ein gut passendes monetäres Äquivalent nur aus Prämienzahlungen in Agrarumweltmaßnahmen (AUM) des Bayerischen Staatsministeriums für Landwirtschaft und Forsten 2008 gefunden werden: So fasst Stufe III einen Methodenmix zusammen, nämlich CVM (NQZ 7, 13, 15) + Prämienhöhe AUM (NQZ 16) und erhöht dadurch eindeutig die Unsicherheit der monetären Bewertung.

Da das Bestreben dieser Arbeit die monetäre Bewertung möglichst aller Umweltwirkungen des Precision Farming ist, wird in *Bewertungsstufe IV* die Bewertung aller im Precision Farming identifizierten Umweltwirkungen zusammengefasst, auch wenn diese eine relativ unsichere monetäre Bewertung darstellt. Es werden also nun auch NQZ 5 und 6 (Minimierung negativer Effekte von Pflanzenschutzmitteln auf Nutzflächen und benachbarten Lebensräumen), NQZ 10, 12 und 14 (Erhalt der Nahrungshabitatfunktion, Aufbau interner Biotop-Verbundsysteme und Erhaltung Selbstregulationsprozesse auf Ackerflächen durch Prädatoren und Parasitoide) in die Berechnung des indirekten Nutzens einbezogen. Stufe IV kann als am relativ unsichersten angesehen werden, da die Bewertung auf einem Methodenmix basiert und study und policy site teilweise nur über den Bewirtschaftungsmodus der NQZ (siehe im Anhang Tabelle 19, Katalog der NQZ) zusammenpassen. Tabelle 12 fasst die vier Bewertungsstufen nochmals zusammen.

Tabelle 12. Ergebnisse der indirekten Bewertung der Wulfen-Studie

		Indirekter Nutzen in €/ha			
		2005/06		2007	
	Umweltwirkung in Nettonutzen indirekt bewertet	Min	Max	Min	Max
Nettonutzen indirekt Stufe I	NQZ 13+15	26,47	60,98	<b>10,59</b>	24,39
Nettonutzen indirekt Stufe II	NQZ 13+15+7	31,25	87,70	10,59	24,39
Nettonutzen indirekt Stufe III	NQZ 13+15+7+16	68,75	175,20	60,59	141,07
Nettonutzen indirekt Stufe IV	NQZ 13+15+7+16+5+6+10+12+14	164,64	<b>369,89</b>	145,82	314,40
	Methode/Referenzstudie (study site)				
Stufe I	CVM: KARKOW 2003				
Stufe II	CVM: KARKOW 2003, JUNG 1996 und KÄMMERER et al. 1996				
Stufe III	CVM: KARKOW 2003, JUNG 1996 und KÄMMERER et al. 1996 AUM*: BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND FORSTEN 2008				
Stufe IV	CVM: KARKOW 2003, JUNG 1996, KÄMMERER et al. 1996, NOTTMEYER-LINDEN et al. 2000 AUM*: BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND FORSTEN 2008				
		*AUM: Prämienzahlung in Agrarumweltmaßnahmen			

Da für die Wulfen-Studie des Precision Farming keine indirekten Kosten identifiziert werden konnten, stellen die Bewertungsstufen I bis IV gleichzeitig den *Nettonutzen indirekt* I bis IV, also sicher bis relativ unsicher, dar. Dieser variiert nun von *minimal* 10,59 €/ha bis maximal 60,98 €/ha in der sicheren Bewertungsstufe I. In der noch relativ sicheren Stufe II liegt das Maximum des Nettonutzens für die Umweltwirkungen mit 87,70 €/ha nicht wesentlich höher, das Minimum bleibt sogar gleich. Dies ändert sich mit dem Maximum-Wert des Nettonutzens indirekt III. Im Vergleich zur vorigen Stufe steigt dieser um das doppelte, auf 175,20 €/ha an. Auch der minimale Nettonutzen III liegt erheblich höher, und zwar bei 60,59 €/ha. Der Nettonutzen mit der größten Unsicherheit (IV) liefert nun auch den höchsten indirekten Nettonutzen von minimal 145,82 €/ha bis zu *maximal* 396,89 €/ha. Insgesamt betrachtet variiert also der Nettonutzen für die Umweltwirkungen des Precision Farming von minimal ca. 11,00 €/ha (Stufe I) bis maximal ca. 400,00 €/ha, was eine enorme Spannweite darstellt.

Aufgrund dieser Ergebnisse ist zu erwarten, dass auch der Nettonutzen insgesamt (direkt und indirekt) der Wulfen-Studie des Precision Farming im Schnitt über die drei Untersuchungsjahre 2005, 2006 und 2007 positiv ausfällt.

### 3.4.3 Sensitivität

Zukünftige Entwicklungen sind bis dahin in die Berechnung der Nutzen und Kosten des Precision Farming nicht eingeflossen. Dieser „Ungewissheit“ soll nun in einer *Sensitivitätsanalyse* Rechnung getragen werden. Durch unterschiedliche Annahmen/Veränderungen der Eingangsdaten bzw. Inputfaktoren wird das System der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming auf seine Empfindlichkeit geprüft. Es findet also eine Grenzbetrachtung der Ergebnisse statt.

Die Sensitivität der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming wird über drei unterschiedlich starke Veränderungen von Inputfaktoren geprüft<sup>66</sup>: eine *schlechte*, eine *normale* und eine *gute* Entwicklung. Relevante Inputfaktoren sind für das Precision Farming auf der Nutzenseite der Produktpreis für Weizen (direkt) und der „Preis“ bzw. die Zahlungsbereitschaft für durch PF positiv beeinflusste Naturschutzgüter (indirekt), wie der Schutz gefährdeter Ackerwildkrautarten (NQZ 13) und die

---

<sup>66</sup> wobei die Berechnung der Sensitivität mit der Veränderung einer einzigen Variablen, ceteris paribus durchgeführt wird (siehe auch Kapitel 2.3 „Sensitivitätsanalyse-Stufe 7“)

Erhaltung und Förderung blütenreicher Ackerbereiche (NQZ 15). Die Zahlungsbereitschaft (ZB) hierfür leitet sich aus der Studie von KARKOW 2003 ab. Auf der Kostenseite fallen die jährlichen Technikkosten ins Gewicht.

Den Annahmen zu Weizenpreisveränderungen wird die Entwicklung des Weizenpreises (Pp) von 2000–2010 (KTBL 2010) zugrunde gelegt. So wird bei einer schlechten Entwicklung der Weizenpreis um 50 % reduziert (Sensitivität 1), bei einer normalen Entwicklung der Weizenpreis um 20 % erhöht (Sensitivität 2) und bei einer guten Entwicklung sogar um 50 % (Sensitivität 3). Die großen Schwankungen des Weizenpreises der letzten zehn Jahre rechtfertigen diese Annahmen. In diesem Zusammenhang wären sie sogar als eher „vorsichtig“ zu bezeichnen, da in den vergangenen Jahren Preisschwankungen von über 100 % zu verzeichnen waren.

In Tabelle 13 sind nun die veränderten Weizenpreise der Jahre 2005 bis 2007 aufgeführt, die als Grundlage zur Berechnung der Sensitivität bzgl. Weizenpreis (Sensitivität 1–3 Pp) dienen. Sie variieren von 45 €/t für Sensitivität 1 (schlechte Entwicklung, 2005) bis zu 225 €/t für Sensitivität 3 (gute Entwicklung 2007).

Tabelle 13. Veränderung der Inputfaktoren zur Sensitivitätsanalyse der NKA des PF

	2005	2006	2007
<b>Produktpreis Weizen (Pp) in Wulfen-Studie</b>	90,00 €/t	115,00 €/t	150,00 €/t
Produktpreis Sensitivität 1 <sup>1</sup>	45,00 €/t	57,50 €/t	75,00 €/t
Produktpreis Sensitivität 2 <sup>1</sup>	108,00 €/t	138,00 €/t	180,00 €/t
Produktpreis Sensitivität 3 <sup>1</sup>	135,00 €/t	172,50 €/t	225,00 €/t
	<b>2005–2007</b>		
	<b>Karte<sup>2</sup></b>	<b>Sensor<sup>2</sup></b>	
<b>Jährliche Technikkosten (Tk) in Wulfen-Studie</b>	4,49 €/ha	5,33 €/ha	
Jährliche Technikkosten Sensitivität 1	5,61 €/ha	6,66 €/ha	
Jährliche Technikkosten Sensitivität 2	4,42 €/ha	5,28 €/ha	
Jährliche Technikkosten Sensitivität 3	3,37 €/ha	3,98 €/ha	
	<b>Befragung Berlin<sup>3</sup></b>	<b>Befragung Rügen<sup>3</sup></b>	
<b>Zahlungsbereitschaft (ZB) für NQZ 13,15<sup>3</sup> in Wulfen-Studie</b>	19,29 €/Hh <sup>4</sup>	44,45 €/Hh	
Zahlungsbereitschaft Sensitivität 1	9,65 €/Hh	22,23 €/Hh	
Zahlungsbereitschaft Sensitivität 2	23,15 €/Hh	53,34 €/Hh	
Zahlungsbereitschaft Sensitivität 3	28,94 €/Hh	66,66 €/Hh	

<sup>1</sup> Sensitivität 1: schlechte Entwicklung, Annahme: Produktpreis -50 %, ZB -50 %, jährl. Kosten +25 %  
 Sensitivität 2: normale Entwicklung, Annahme: Produktpreis +20 %, ZB +20 %, jährl. Kosten -1,5%  
 Sensitivität 3: gute Entwicklung, Annahme: Produktpreis +50 %, ZB +50 %, jährl. Kosten -25 %

<sup>2</sup> Precision-Farming-Strategie

<sup>3</sup> aus Befragung Karkow 2003

<sup>4</sup> Hh = Haushalt

Da eine Entwicklung der Zahlungsbereitschaft für Schutz, Erhaltung und Förderung von Ackerwildkrautflora (NQZ 13, 15) schwer voraussagen ist, wurde deren schlechte, normale, gute Entwicklung für die Sensitivitätsanalyse des Precision Farming an die Weizenpreisentwicklung angelehnt. Andere Annahmen wären zu willkürlich. Bestünde lediglich die Frage, ob eine Prüfung der Sensitivität bzgl. Umweltwirkungen des Precision Farming überhaupt notwendig wäre, wird doch deren monetäre Bewertung ohnehin in jeweils vier Bewertungsstufen<sup>67</sup> (I–IV) als eine Art „Empfindlichkeitsprüfung“ dargestellt. So variiert schließlich die Zahlungsbereitschaft von 9,65 €/Haushalt (Befragung Berlin) bei einer schlechten Entwicklung bis zu 66,66 €/Haushalt (Befragung Rügen) bei einer guten Entwicklung, wie in Tabelle 13 dargestellt.

Die Einschätzung einer schlechten, normalen und guten Entwicklung der jährlichen Technikkosten (Tk) basiert auf einer Expertise innerhalb des pre-agro-II-Verbundprojektes. Hierbei wird der normalen Entwicklung die Tatsache zugrunde gelegt, dass „Technik mit der Zeit immer günstiger wird“ (SCHNEIDER 2011). Deshalb werden die jährlichen Technikkosten in der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming in Höhe der Inflationsentwicklung um 1,5 % reduziert. Da das Projekt der flächenweiten Einführung des Precision Farming nicht auf allzu entfernte Zukunft abzielt, erscheint eine schlechte Kostenentwicklung von +25 % und eine gute Kostenentwicklung von -25 % gerechtfertigt (SCHNEIDER 2011). So belaufen sich die in Tabelle 13 dargestellten Kostenveränderungen von 3,37 €/ha auf bis zu doppelt so viel mit 6,66 €/ha.

Daher kann an dieser Stelle bereits erwartet werden, dass aufgrund obiger Annahmen für die relevanten Inputfaktoren die Schwankungen der Preise (für Produkt und Umweltwirkung) einen vermutlich größeren Einfluss auf das Ergebnis der NKA des PF haben werden und das System gegebenenfalls empfindlicher reagieren wird als auf Kostenänderungen.

Die Berechnung der schlechten, normalen und guten Entwicklung des Nettonutzens erfolgte für die jeweils einzelnen Einflussfaktoren gemäß den Berechnungen zur Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming. Im Einzelnen ist die Berechnung der Sensitivität 1–3 bzgl. des Produktpreises Weizen für den direkten Nutzen im Anhang

---

<sup>67</sup> siehe Kapitel 3.4.2.2 Indirekte Bewertung



in Tabelle 4 zu finden. Hier fällt auf, dass der negative Nutzen in den Precision-Farming-Varianten „Karte“ 2006 (-58,50 €/ha) und 2007 (-35,10 €/ha), hervorgerufen durch einen Ertragsverlust/ha dieser PF-Variante, in der schlechten Entwicklung des Weizenpreises etwas abgedämpft wird auf -34,35€/ha (2006) und -13,35€/ha (2007) und in der guten Entwicklung auf -82,65€/ha (2006) und -56,85€/ha (2007) voll durchschlägt.

So zeigt die Sensitivitätsanalyse der Nutzen und Kosten des Precision Farming bzgl. einer Veränderung des Produktpreises für Weizen deutlich, dass sich die positiven Ergebnisse von der schlechten zur guten Entwicklung verstärken, leider aber auch die negativen. Steigt der Preis in der guten Entwicklung für ein Verlustprodukt, so wird auch der Verlust oder der negative Nutzen größer. So wird in Tabelle 14 ersichtlich, dass der Nettonutzen I bzgl. Produktpreis im Jahre 2006 für die PF-Strategie „Karte“ von -13,21 €/ha auf -61,51 €/ha und 2007 sogar von -8,09 €/ha auf -51,59 €/ha fällt. Im Vergleich zu den Ergebnissen der Wulfen-Studie halbiert/verdoppelt bzw. verringert sich der Nettonutzen I um ein Vierfaches<sup>68</sup>. Trotz alledem reagiert das System der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming bei den vorgestellten Weizenpreisänderungen stabil, da der Nettonutzen im Mittel über alle drei Jahre positiv ausfällt und negativer Nettonutzen negativ und positiver Nettonutzen positiv bleibt. Auch die Tatsache, dass Sensitivität 1 (schlechte Preisentwicklung) zu Sensitivität 3 (gute Preisentwicklung) von 33,85 €/ha auf 16,13 €/ha (für Nettonutzen I) sinkt, zeugt von der Stabilität der vorgestellten Nutzen-Kosten-Analyse.

Die Veränderung der Zahlungsbereitschaft wirft ein ähnliches Bild auf die Ergebnisse der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming, mit dem Unterschied, dass die gute Entwicklung den Nettonutzen über alle drei Jahre hinweg ansteigen lässt. Dabei bleibt ein negativer Nettonutzen negativ, ein positiver Nettonutzen wird jedoch durch die schlechte Entwicklung nicht negativ. Extreme Schwankungen, wie bei Veränderung des Weizenpreises bei Min 2006 und Min 2007 (Tabelle 14) um das 4- bzw. 6-fache der Werte des Nettonutzens, sind für Veränderung der Zahlungsbereitschaft

---

<sup>68</sup> Details zur Berechnung des Nettonutzens Sensitivität 1–3 bzgl. Veränderung Produktpreis Weizen finden sich im Anhang in Tabelle 28, Tabelle 29, Tabelle 30.

nicht zu beobachten<sup>69</sup>. Die Spanne zwischen schlechter und guter Entwicklung liegt in allen Varianten um den Faktor 2. Lediglich die Spanne des Mittelwertes über alle drei Jahre reicht von 7,38 € bis zu 42,39 €. So weicht die Sensitivität der Zahlungsbereitschaft auch nicht übermäßig vom tatsächlichen Ergebnis in der Wulfen-Studie ab. Das System reagiert also auch bei Veränderungen der Zahlungsbereitschaft stabil. Einzelheiten zur Berechnung der Sensitivität 1–3 für den indirekten Nutzen der Umweltwirkungen des Precision Farming bzgl. Zahlungsbereitschaft mit Umrechnung für die Quantifizierung über den Benefit Transfer finden sich im Anhang in Tabelle 25, Tabelle 26 und Tabelle 27.

Wie bereits erwartet, reagiert das System der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming auf Veränderungen der Technikkosten am stabilsten. So schwanken die Nettonutzen in Sensitivität 1 bis 3 nur geringfügig und weichen unerheblich vom Nettonutzen der Wulfen-Studie ab (siehe Tabelle 14). Details zur Berechnung des Nettonutzens der Sensitivität 1–3 bzgl. der Veränderung der Technikkosten finden sich im Anhang in Tabelle 31, Tabelle 32 und Tabelle 33. Die zukünftige Entwicklung der Technikkosten (ob gut oder schlecht) beeinflusst das Ergebnis der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming nur wenig, auch wenn in naher Zukunft die Technikkosten und die damit verbundenen Transaktionskosten fallen, da die Precision Farming Technologie immer mehr zur Standard-Technikausstattung in der Landwirtschaft gehören wird. Die größten Veränderungen im Ergebnis der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming werden durch Veränderungen der Zahlungsbereitschaft hervorgerufen, also durch die Bewertung von Umweltwirkungen. Sie stellen somit den größten Einflussfaktor dar.

---

<sup>69</sup> Details zur Berechnung des Nettonutzens Sensitivität 1–3 bzgl. der Veränderung der Zahlungsbereitschaft finden sich im Anhang in Tabelle 34, Tabelle 35, Tabelle 36.

Tabelle 14. Sensitivitätsanalyse der Nutzen und Kosten des Precision Farming – Sensitivität 1–3<sup>1</sup>

Veränderung Produktpreis (Pp)	2005		2006		2007		2005–2007
	Min (Karte*)	Max (Sensor*)	Min (Karte*)	Max (Sensor*)	Min (Karte*)	Max (Sensor*)	Mittelwert
<b>Nettonutzen I<sup>2</sup> Sensitivität 1<sup>1</sup> Pp in €/ha</b>	<b>30,84</b>	<b>86,89</b>	<b>-13,21</b>	<b>78,69</b>	<b>-8,09</b>	<b>27,96</b>	<b>33,85</b>
<i>Nettonutzen IV<sup>2</sup> Sensitivität 1 Pp</i>	<i>169,01</i>	<i>395,80</i>	<i>124,96</i>	<i>387,60</i>	<i>127,14</i>	<i>317,96</i>	<i>253,75</i>
<b>Nettonutzen I Sensitivität 2 Pp in €/ha</b>	<b>41,38</b>	<b>91,93</b>	<b>-47,02</b>	<b>49,51</b>	<b>-38,54</b>	<b>31,11</b>	<b>21,40</b>
<i>Nettonutzen IV Sensitivität 2 Pp</i>	<i>179,55</i>	<i>400,84</i>	<i>91,15</i>	<i>358,42</i>	<i>96,69</i>	<i>321,11</i>	<i>241,29</i>
<b>Nettonutzen I Sensitivität 3 Pp in €/ha</b>	<b>46,24</b>	<b>94,09</b>	<b>-61,51</b>	<b>37,09</b>	<b>-51,59</b>	<b>32,46</b>	<b>16,13</b>
<i>Nettonutzen IV Sensitivität 3 Pp</i>	<i>184,41</i>	<i>403,00</i>	<i>76,66</i>	<i>346,00</i>	<i>83,64</i>	<i>322,46</i>	<i>236,03</i>
Veränderung Zahlungsbereitschaft (ZB)**							
<b>Nettonutzen I Sensitivität 1 ZB in €/ha</b>	<b>24,82</b>	<b>60,01</b>	<b>-50,68</b>	<b>27,31</b>	<b>-35,17</b>	<b>18,01</b>	<b>7,38</b>
<i>Nettonutzen IV Sensitivität 1 ZB</i>	<i>163,46</i>	<i>399,92</i>	<i>87,96</i>	<i>366,72</i>	<i>100,06</i>	<i>308,02</i>	<i>237,61</i>
<b>Nettonutzen I Sensitivität 2 ZB in €/ha</b>	<b>43,42</b>	<b>102,68</b>	<b>-32,08</b>	<b>69,98</b>	<b>-28,36</b>	<b>35,08</b>	<b>31,79</b>
<i>Nettonutzen IV Sensitivität 2 ZB</i>	<i>182,06</i>	<i>411,59</i>	<i>106,56</i>	<i>378,89</i>	<i>106,87</i>	<i>325,09</i>	<i>251,84</i>
<b>Nettonutzen I Sensitivität 3 ZB in €/ha</b>	<b>51,37</b>	<b>120,99</b>	<b>-24,13</b>	<b>88,29</b>	<b>-24,55</b>	<b>42,39</b>	<b>42,39</b>
<i>Nettonutzen IV Sensitivität 3 ZB</i>	<i>190,01</i>	<i>429,90</i>	<i>114,51</i>	<i>397,20</i>	<i>110,68</i>	<i>332,40</i>	<i>262,45</i>
Veränderung Technikkosten (Tk)							
<b>Nettonutzen I Sensitivität 1 Tk in €/ha</b>	<b>36,81</b>	<b>89,37</b>	<b>-38,69</b>	<b>56,67</b>	<b>-31,17</b>	<b>29,09</b>	<b>23,68</b>
<i>Nettonutzen IV Sensitivität 1 Tk</i>	<i>174,98</i>	<i>398,28</i>	<i>99,48</i>	<i>365,58</i>	<i>104,06</i>	<i>319,09</i>	<i>243,58</i>
<b>Nettonutzen I Sensitivität 2 Tk in €/ha</b>	<b>38,19</b>	<b>90,56</b>	<b>-37,31</b>	<b>57,86</b>	<b>-29,79</b>	<b>30,28</b>	<b>24,97</b>
<i>Nettonutzen IV Sensitivität 2 Tk</i>	<i>176,36</i>	<i>399,47</i>	<i>100,86</i>	<i>366,77</i>	<i>105,44</i>	<i>320,28</i>	<i>244,86</i>
<b>Nettonutzen I Sensitivität 3 Tk in €/ha</b>	<b>39,47</b>	<b>91,61</b>	<b>-36,03</b>	<b>58,91</b>	<b>-28,51</b>	<b>31,33</b>	<b>26,13</b>
<i>Nettonutzen IV Sensitivität 3 Tk</i>	<i>177,64</i>	<i>400,52</i>	<i>102,14</i>	<i>367,82</i>	<i>106,72</i>	<i>321,33</i>	<i>246,03</i>
<b>Nettonutzen Wulfen-Studie</b>	<b>38,98</b>	<b>89,65</b>	<b>-36,52</b>	<b>56,95</b>	<b>-29,00</b>	<b>29,37</b>	<b>24,91</b>

\*Precision Farming-Strategie, \*\* in Studie KARKOW 2008

<sup>1</sup> Sensitivität 1: schlechte Entwicklung, Sensitivität 2: normale Entwicklung, Sensitivität 3: gute Entwicklung, nähere Erläuterung siehe Tabelle 10,

2 Bewertungsstufen (bzgl. indirekter Nutzen) I: sehr sicher, IV: relativ unsicher, genauere Beschreibung siehe Anhang Tabelle 23

### 3.4.4 Diskontierung

Wie bereits in Kapitel 2 angedeutet, besitzt die Diskontierung der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming wenig Relevanz, da die tangiblen Wirkungen des Projektes direkt oder mit vernachlässigbarer zeitlicher Verzögerung nach Beendigung der Bewirtschaftungsmaßnahmen eintreten. Zudem fallen kaum nennenswerte Investitionskosten, bspw. für die Technikanschaffung an. Wie bereits in Tabelle 8, dargestellt, trifft dies für die Berechnungen der Technikkosten/ha auch tatsächlich zu. Allerdings müssen aber die Einzelbetriebe direkt zur Technikanschaffung auf einmal größere Summen aufwenden, die für die meisten landwirtschaftlichen Betriebe zu einem Hindernis werden.

Da die Technikkosten auch bei Veränderungen, bspw. bei der Sensitivitätsanalyse, wenig Einfluss auf das Ergebnis der Nutzen-Kosten-Analyse nehmen, ist eine Einflussnahme der Wirkungen des Precision-Farming-Projektes für einen längeren Zeitraum nicht gegeben und eine Diskontierung der anfallenden Nutzen und Kosten für dieses Projekt hinfällig<sup>70</sup>.

### 3.4.5 Gegenüberstellung der Nutzen und Kosten des Precision Farming

Die Gegenüberstellung der aggregierten Nutzen und Kosten des Precision Farming-Projektes erfolgt nun in Tabelle 15. Die Nutzen-Kosten-Differenz, genannt der *Nettonutzen (NN)* oder das *Nutzen-Kosten-Verhältnis (Verhältniskriterium VK)* dienen dabei als Entscheidungskriterien für die Vorteilhaftigkeit eines Projekts. Beide können sichere Ergebnisse für eine Empfehlung liefern, da sich im Rahmen der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming die Situation der isolierten Einzelentscheidung ergibt. Das Nutzen-Kosten-Verhältnis wird dabei nach dem Bruttoprinzip errechnet (siehe auch Kapitel 2.3.9.1 Entscheidungskriterien und Kapitel 2.3.9.2 Entscheidungsregeln).

Wie in Tabelle 15 dargestellt, fällt der Nettonutzen des Precision-Farming über die zwei Precision-Farming-Strategien über alle drei Jahre nicht immer positiv aus. Für

---

<sup>70</sup> Wenn es um Umweltwirkungen geht, wäre ein längerer Zeithorizont aber durchaus denkbar. Der positive Effekt der Düngereinsparung auf das Grundwasser ist vielleicht erst in 20 Jahren spürbar. Da aber diese Effekte bzgl. Precision Farming noch nicht untersucht und nachgewiesen werden konnte, gilt die obige Aussage.

die Jahre 2006 und 2007, jeweils für die PF-Strategie „Karte“, ergibt sich für Nettonutzen I und II ein negativer Wert von -36,52 €/ha (2006, NN I) und -29,00 €/ha (2007, NN II). Wohingegen die Sensorvariante über alle drei Jahre deutlich positiv ausfällt und einen Nettonutzen I von +29,37 €/ha (2007) bis zu +89,65 €/ha (2005) aufweist. Betrachtet man den relativ unsicheren Nettonutzen IV, so reicht dieser für 2005 sogar bis zu +398,56 €/ha. Dem hier hohen Nutzen (403,89 €/ha „Sensor“, 2005, NN IV) stehen geringe Kosten (5,33 €/ha „Sensor“, 2005) gegenüber, womit der *maximale Nettonutzen* von +398,56 €/ha erreicht wird. Dem steht der *minimale Nettonutzen* der Bewertungsstufe I in 2006, Variante „Karte“ mit -36,52 €/ha gegenüber, welcher sich aus einem Verlust von -32,03 €/ha Nutzen und geringen Kosten von 4,49 €/ha ergibt.

Zusammenfassend erweist sich also die Sensor-Variante des Precision Farming als vorteilhafter und erfolgversprechender gegenüber der Karten-Variante. Die Precision-Farming-Strategie „Karte“ verursacht durch ihre Ertragsverluste einen relativ hohen Nutzenverlust, der auch durch den durchweg positiven indirekten Nutzen der bewerteten Umweltwirkungen erst ab der Bewertungsstufe III ausgeglichen werden kann<sup>71</sup>. Die Kosten/ha des Precision Farming spielen dabei eine untergeordnete Rolle, da sie in allen drei Jahren sehr gering ausfallen (von 4,49 €/ha bis 5,33 €/ha).

---

<sup>71</sup> Der Autorin dieser Arbeit ist sehr wohl bewusst, dass die Wulfen-Studie insgesamt betrachtet, wohl zu klein angelegt war und zu wenig Flächen betrachtet wurden. Die Möglichkeit einer erweiterten Betrachtung war schlichtweg nicht möglich aufgrund begrenzter Kapazitäten der Teilprojekte innerhalb des pre-agro-II-Projektes und des WIMEX Versuchsbetriebes.

Tabelle 15. Gegenüberstellung der Nutzen und Kosten des Precision Farming

	2005 (Schlag 432)		2006 (Schlag 411)		2007 (Schlag 432)		
	Min (Karte*)	Max (Sensor*)	Min (Karte*)	Max (Sensor*)	Min (Karte*)	Max (Sensor*)	
<b>NUTZEN</b>							<i>Mittelwert**</i>
Nutzen direkt in €/ha	17,00	34,00	-58,50	1,30	-35,10	10,30	
Nutzen indirekt I*** in €/ha	26,47	60,98	26,47	60,98	10,59	24,40	
Nutzen indirekt II	31,25	37,70	31,25	87,70	10,59	24,40	
Nutzen indirekt III	68,75	175,20	68,74	175,20	60,59	141,07	
Nutzen indirekt IV	164,64	369,89	164,64	369,89	145,82	314,40	
<b>Summe Nutzen I in €/ha</b>	<b>43,47</b>	<b>94,98</b>	<b>-32,03</b>	<b>62,28</b>	<b>-24,51</b>	<b>34,70</b>	<b>29,82</b>
<b>Summe Nutzen II</b>	<b>48,25</b>	<b>121,70</b>	<b>-27,25</b>	<b>89,00</b>	<b>-24,51</b>	<b>34,70</b>	
<b>Summe Nutzen III</b>	<b>85,75</b>	<b>209,20</b>	<b>10,25</b>	<b>176,50</b>	<b>25,49</b>	<b>151,37</b>	
<b>Summe Nutzen IV</b>	<b>181,64</b>	<b>403,89</b>	<b>106,14</b>	<b>371,19</b>	<b>110,72</b>	<b>324,70</b>	<b>249,71</b>
<b>KOSTEN</b>							
Kosten direkt in €/ha	4,49	5,33	4,49	5,33	4,49	5,33	
Kosten indirekt in €/ha	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
<b>Summe Kosten in €/ha</b>	<b>4,49</b>	<b>5,33</b>	<b>4,49</b>	<b>5,33</b>	<b>4,49</b>	<b>5,33</b>	<b>4,91</b>
<b>NETTONUTZEN/VERHÄLTNISKRITERIUM</b>							
<b>Nettonutzen I PF in €/ha</b>	<b>38,98</b>	<b>89,65</b>	<b>-36,52</b>	<b>56,95</b>	<b>-29,00</b>	<b>29,37</b>	<b>24,91</b>
Nettonutzen II PF	43,76	116,37	-31,74	83,67	-29,00	29,37	35,41
Nettonutzen III PF	81,26	203,56	5,76	171,17	21,00	146,04	104,85
<b>Nettonutzen IV PF</b>	<b>177,15</b>	<b>398,56</b>	<b>101,65</b>	<b>365,86</b>	<b>106,23</b>	<b>319,37</b>	<b>244,80</b>
<b>Mittelwert I–IV</b>	<b>85,29</b>	<b>202,11</b>	<b>31,29</b>	<b>169,41</b>	<b>17,25</b>	<b>131,04</b>	<b>106,17</b>
<b>Verhältniskriterium I</b>	<b>9,68</b>	<b>17,82</b>	<b>-7,13</b>	<b>11,68</b>	<b>-5,46</b>	<b>6,51</b>	<b>5,52</b>
VK II	10,75	22,83	-6,07	16,70	-5,46	6,51	7,54
VK III	19,10	39,25	2,28	33,11	5,68	28,40	21,30
<b>VK IV</b>	<b>40,45</b>	<b>75,78</b>	<b>23,64</b>	<b>69,64</b>	<b>24,66</b>	<b>60,92</b>	<b>49,18</b>
<b>Mittelwert I–IV</b>	<b>20,00</b>	<b>38,92</b>	<b>3,18</b>	<b>32,78</b>	<b>4,86</b>	<b>25,59</b>	<b>20,89</b>

\* Precision Farming-Strategie,

\*\* über drei Jahre mal zwei Varianten

\*\*\* Bewertungsstufen I–IV: I: sehr sicher (NQZ 13+15), II: sicher (NQZ 13+15+7), III: relativ sicher: (NQZ 13+15+7+16), IV: relativ unsicher (alle bewerteten NQZ), genauere Beschreibung siehe Anhang Tabelle 22

Betrachtet man nun aber die durchschnittlichen Werte der Nutzen und Kosten des Precision Farming über die drei Jahre und zwei Varianten, so ergibt sich ein eindeutig positives Bild für Nettonutzen und Verhältniskriterium. Dem durchschnittlichen Nutzen von 29,82 €/ha (NN I) und 249,71 €/ha (NN IV) stehen Kosten von 4,91 €/ha gegenüber. Daraus ergibt sich ein *minimaler durchschnittlicher Nettonutzen von 24,91 €/ha* (NN I) mit einem Verhältniskriterium von 5,52 und ein *maximaler durchschnittlicher Nettonutzen von 244,80 €/ha* (NN IV) mit einem Wert von 49,18 für das Verhältniskriterium<sup>72</sup>. Das ist, ähnlich wie bei der Einzelbetrachtung, eine enorme Spannweite.

Des Weiteren muss nun das Vorhaben, eine Einführung des Precision Farming im Landbau in Deutschland oder nicht, zur Durchführung empfohlen oder abgelehnt werden. Bei dieser isolierten Einzelentscheidung wird ein Projekt empfohlen, wenn der Nettonutzen  $> 0$  ist (ANDEL 1998, S. 90) oder das Verhältniskriterium von Nutzen zu Kosten (VK)  $> 1$  ist (MÜHLENKAMP 1994, S. 171). Beide Entscheidungskriterien sind im Falle der Einzelentscheidung eindeutig und aussagekräftig (HANUSCH 1987, S. 114). Um das Projekt der Einführung von Precision Farming in seiner Gesamtheit betrachten zu können, werden die durchschnittlichen Werte über alle Jahre der zwei Varianten zur abschließenden Bewertung herangezogen.

Da der durchschnittliche *Nettonutzen* eindeutig *positiv* ist und das *Verhältniskriterium* auch deutlich *über 1* liegt, ist die *Einführung des Precision Farming im Landbau zu empfehlen*, zunächst einmal für die Region Köthen (Untersuchungsregion). Unter der Annahme, dass die Ergebnisse der Fallstudie Wulfen auch repräsentativ für andere Regionen in Deutschland seien, würde die Einführung von Precision Farming in großen Teilen Deutschlands empfehlenswert sein.

### 3.4.6 Intangibles

Nach Gegenüberstellung aller direkten und indirekten Nutzen und Kosten der flächenweiten Einführung des Precision Farming in Deutschland erfolgt schließlich das

---

<sup>72</sup> Verhältniskriterium wird hierbei nach dem „Bruttoprinzip“ berechnet, d. h. alle Werte mit positivem Vorzeichen werden als Nutzen und alle Werte mit negativen Vorzeichen als Kosten betrachtet. Da die Kosten und somit auch die darin enthaltenen Investitionskosten sehr gering ausfallen, erübrigt sich eine Aufspaltung in Betriebskosten und Investitionskosten. Zu Brutto/Nettoprinzip siehe auch Kapitel 2.3

verbale Beschreiben der nicht quantifizierten Nutzen und Kosten des Precision Farming, der Intangibles (siehe Tabelle 16).

Auf der Kostenseite sind diesbezüglich betriebsinterne Transaktionskosten des Technologieinsatzes zu erwähnen, wie bspw. Anlaufzeiten, bis die Precision-Farming-Technik wirklich „rundläuft“ und die gewünschten Effekte hervorbringt, oder Fehler/Komplettausfälle der Precision-Farming-Technik. Diese verursachen Kosten, die als Mehraufwand der Arbeitszeit nicht zu vernachlässigen sind.

Diesen stehen aber positive Wirkungen gegenüber, wie die Vermeidung betriebsinterner Transaktionskosten. Die Precision-Farming-Technologie erleichtert erheblich das Datenmanagement, die Kontroll- und Dokumentationsfunktionen. Dies schlägt sich in einer Effektivitätssteigerung der Arbeitskräfte nieder. Als positive Wirkung des Precision Farming kann sicherlich auch der Erhalt bzw. eine Neubeschaffung/-orientierung von Beschäftigung angesehen werden. Das Tätigkeitsfeld des „Agrimanagers“ verlagert sich dabei zu Technik und Informatik, aber auch zu Landschaftspflege. Neue, spezialisierte Branchen am Markt können entstehen. Neue Spezialisten werden im landwirtschaftlichen Betrieb benötigt. Jungen Menschen können so interessante berufliche Perspektiven in der Landwirtschaft geboten werden, was der „Landflucht“ entgegenwirken kann.

Um neueste Technologieentwicklungen effizient nutzen zu können und auch in Zukunft davon zu profitieren, muss das Wissen und die Anwendung der Neuheiten permanent erworben und ermittelt werden. Der Bedarf an Wissenstransfer, an Aus- und Weiterbildung und IT-Support für Precision-Farming-Technologie schafft somit nach RÖSCH et al. (2005, S. 171) zusätzlich Arbeitsplätze im ländlichen Raum. Große Betriebe können es sich leisten, qualifizierte Berater für die Anwendung von Precision Farming einzustellen. Doch es sind vor allem die kleineren Betriebe, die auf externe Berater zurückgreifen werden. Es ist also vorstellbar, dass Stellen für fachlich kompetente Mitarbeiter in überbetrieblichen Einrichtungen entstehen, die Landwirte zur Anwendung von Precision Farming beraten. So scheint sich ein Trend zu hochqualifiziertem Personal mit auch höherer Entlohnung anzubahnen (HANEKLAUS und SCHNUG 2006, S. 133).



Tabelle 16. Intangibles

Beschreibung der Wirkung	
NUTZEN	KOSTEN
<b>Vermeidung betriebsinterner Transaktionskosten im Betriebsmanagement</b> Arbeitserleichterung/Zeiteinsparung durch automatisierte(s): ⇒ Arbeitsplanung ⇒ Dokumentation ⇒ Sammeln von Maschinendaten ⇒ Flottenmanagement	<b>Betriebsinterne Transaktionskosten des Technikeinsatzes</b> ⇒ lange Anlaufzeit um Technologie zum Laufen zu bringen
<b>Erhalt/ Neuschaffung von Beschäftigung</b> ⇒ betriebsintern ⇒ am Markt	<b>Verlust von Arbeitsplätzen</b> ⇒ Austausch über Internetplattformen ⇒ Beschleunigung des Strukturwandels
<b>Aufbau von Perspektiven, Entwicklungspotenzial für die Zukunft der Landwirtschaft</b> ⇒ technischer Fortschritt auch in der Landwirtschaft ⇒ positives Image, Landwirt als „high-tech Agrimanager“ ⇒ Motivation, weniger Abwanderung aus ländlichen Regionen	
<b>Förderung des Umweltbewusstseins</b> ⇒ <b>Sensibilisierung des Landwirtes für Boden und Pflanze!</b>	
<b>Ökologisch abiotisch</b> ⇒ Minimierung der Bodenerosion (NQZ2) ⇒ Schutz terrestrischer Biotope vor Nährstoffausträgen (NQZ3)	
<b>„Menschliches Wohlergehen“</b> ⇒ Umweltqualität, Erholung	

Gespräche mit den landwirtschaftlich praktizierenden Projektpartnern bestätigen dies. Aus Umfragen auf der Agritechnica 2001 und 2003 (JÜRGENS und REICHARDT 2005) ergaben sich sogar Vorteile einer Anwendung der Precision-Farming-Technologie im Landbau bzgl. eines Aufzeigens neuer Perspektiven, also Entwicklungspotenzials, für die Landwirtschaft. Dies wurde als „Horizontenerweiterung“ durch Weiterbildung und Schulungen im technisch-informatischen Bereich bezeichnet. Dadurch kann die Landwirtschaft ein positives Image gewinnen. Als „high-tech Agrimanager“ wird der Beruf des Landwirtes für junge Menschen nicht nur wieder at-

traktiv, sondern motiviert auch erheblich, in der Landwirtschaft weiter beruflich tätig zu bleiben.

Andererseits könnten aber diese externen Arbeitsplätze durch Internetplattformen und Onlineschulungen wieder kompensiert werden, so dass die Anzahl der durch Precision Farming neu entstandenen Jobs tatsächlich kleiner würde (HANEKLAUS und SCHNUG 2006, S. 133). Durch die fehlende Rentabilität der Technik für kleinere Betriebe kann die Diffusion von Precision Farming auch eine Beschleunigung des Strukturwandels im ländlichen Raum nach sich ziehen und damit von dieser Seite aus gesehen auch zu einem Abbau von Arbeitsplätzen führen (RÖSCH et al. 2005, S. 171).

Als entscheidender Punkt für die Intangibles stellt sich eine deutliche *Förderung des Umweltbewusstseins der Landbewirtschaftler* heraus, die durch den Einsatz der Technologie des Precision Farming hervorgerufen wird. Die von allen Seiten betonte erhebliche Sensibilisierung der Landwirte hin zum Boden mit seinen vielfältigen Eigenschaften und zu den Pflanzen mit ihren unterschiedlichen Ansprüchen ist der Ansatzpunkt, an dem die Landwirte aktiv an einer Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft mitwirken und sich dessen auch ganz bewusst werden, im Gegensatz zu einer schlag-einheitlichen Bewirtschaftungsweise.

Schließlich kann Precision Farming auch einen positiven Beitrag zur Erhaltung des „menschlichen Wohlbefindens“ über gute Umweltqualität und hohe Nahrungsmittelqualität leisten. Zu den ökologisch abiotischen Wirkungen bzgl. Minimierung der Bodenerosion (NQZ2) durch Minimierung der wendenden Bodenbearbeitung und dem Schutz terrestrischer Biotope vor Nährstoffausträgen aus den Ackerflächen (NQZ3) durch Reduktion der Düngung konnten im pre-agro-II-Projekt<sup>73</sup> keine Aussagen getroffen werden. Es bleibt aber unbedingt festzuhalten, dass Precision Farming ein hohes Potenzial besitzt, sich positiv auf Bodenschutz und Wasserschutz auszuwirken (PLACHTER und JANBEN 2004, S. 175 ff.).

---

<sup>73</sup> aufgrund der zur Verfügung stehenden Untersuchungs- und Beprobungsflächen im pre-agro-II-Projekt, TP4 Naturschutz

### 3.4.7 Gesamtbeurteilung und Schlussfolgerungen

Die Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming konnte erfolgreich unter besonderer Beachtung der ökologischen Wirkungen des Precision Farming erstellt werden. Basis sind hierbei empirische Untersuchungen innerhalb der Wulfen-Studie (fünf Versuchsfelder in drei Jahren Laufzeit). Da kein anderes Datenmaterial zur Verfügung stand, wurden daraus Aussagen zu einer volkswirtschaftlichen Bedeutung des Precision Farming unter bestimmten Restriktionen abgeleitet. Um aber sicherere Aussagen ableiten zu können, müsste die Wulfen-Studie bspw. in mehreren Regionen Deutschlands durchgeführt werden. Erst dann könnte man tatsächlich signifikante Aussagen bzgl. Precision Farming und seiner volkswirtschaftlichen Bedeutung treffen.

So sind aber dennoch qualitative und quantitative Aussagen getroffen worden bzgl. des Nettonutzens von Precision Farming. Der deutlich positive Wert des durchschnittlichen Nettonutzens (Nettonutzen Minimum: 24,91 €/ha, Maximum: 244,80 €/ha) basiert dabei auf einer Vielzahl von positiven indirekten Umweltwirkungen, die durch Precision Farming hervorgerufen werden. Beim Einsatz von Precision Farming im Landbau erwirtschaftet man also gleichzeitig, meist als unbeabsichtigte Nebenfolge, ein ganzes Bündel an positiven Umweltwirkungen (externe Effekte). Nicht unumstritten bleibt dabei deren Quantifizierung. Die Expertenbewertung in Verbindung mit jeweils verschiedenen Methoden aus der Umweltökonomie, die erst über einen benefit transfer mit entsprechender Gewichtung (aus der Expertenbewertung) zu dem monetären Wert führte, kann dabei keine wirklich sichere Bewertung liefern.

Insgesamt betrachtet, kann die *Einführung des Precision Farming* bezogen auf die Region der Wulfen-Studie als *empfehlenswert* gelten. Basierend auf der Vielzahl positiver Umweltwirkungen zeigt auch die Sensitivitätsanalyse, dass gerade diese monetäre ökologische Bewertung den größten Einfluss auf das System der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming hat. Veränderungen in der Umweltbewertung wirken sich am stärksten auf den Nettonutzen des Precision Farming aus. Dabei darf nicht außer Acht gelassen werden, dass die Precision-Farming-Strategie „Karte“

durch Ertragsausfälle<sup>74</sup> zu negativen Ergebnissen (Nettonutzen) im Einzelnen geführt hatte, trotz der vielfältigen positiven Umweltwirkungen.

Den positiven Ergebnischarakter der Wulfen-Studie unterstützt auch die Beschreibung der Intangibles des Precision Farming. Sechs nutzenunterstützenden Wirkungen, wie bspw. Einsparung von Transaktionskosten, Förderung des Umweltbewusstseins, Schaffung von Arbeitsplätzen, stehen nur zwei kostenbeschreibende Intangibles entgegen. Hierbei stehen die Transaktionskosten im Vordergrund. In zukünftigen Precision-Farming-Analysen müsste versucht werden, diese zu quantifizieren. Untersuchungen zur Akzeptanz von Precision Farming von JÜRGENS und REICHARDT (2005, S. 68) zeigten, dass viele Nutzer den Zeitaufwand problematisch fanden, dessen es bedarf, um sich mit der Technik vertraut zu machen. Darüber hinaus beanstandeten die Nutzer die mangelnde Kompatibilität zwischen den Geräten verschiedener Hersteller und die Zuverlässigkeit der EDV-Ausrüstung und Landtechnik.

Wie jede Methode weist auch die Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming eine Reihe von Grenzen und kritischen Aspekten auf. Diesen wird in der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming in der Wulfen-Studie besondere Beachtung geschenkt. So wird die schwierige *Auswahl aller relevanten Projektwirkungen* durch das sehr detaillierte Zielsystem des pre-agro-II-Projektes erheblich verbessert und erleichtert. Auch die *monetäre Bewertung von Umweltwirkung und deren Akzeptanz* verliert durch die erfolgte Sensitivitätsanalyse des Precision Farming erheblich an Brisanz. Durch Darstellung des indirekten Nettonutzens in einem vierstufigen Bewertungssystem, kann der (falschen) simplen *Aggregation bei der monetären Bewertung der Umweltwirkungen* aus dem Weg gegangen werden.

Schließlich ist eines ganz klar herauszustellen: Die Nutzen-Kosten-Analyse hat auch Vorteile. Einmal besticht sie durch eine gute Vergleichbarkeit von Nutzen und Kosten durch den einfachen Vergleichsmaßstab in Form von Geld und zweitens erhöht sie in erheblichem Maße Transparenz und Verständlichkeit. *Dennoch sollen die Ergebnisse der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming nicht als generell gültige Aussage verstanden werden.* Vielmehr sollen nur Bereiche und Trends aufgezeigt werden, in welche Richtung Auswirkungen beim Einsatz von Precision Farming am Beispiel der Wulfen-Studie gehen können.

---

<sup>74</sup> in zwei der drei Versuchsjahre in den ersten beiden Bewertungsstufen des Nettonutzens

#### 4. Hochrechnung der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming

Grundvoraussetzung eines Einsatzes von Precision Farming im Pflanzenbau ist die Existenz kleinräumiger Unterschiede der pflanzenbaulich relevanten Faktoren wie Boden, Dünger- und Wasserverfügbarkeit etc. im Schlag. Die Anpassung jeglicher pflanzenbaulicher Maßnahmen an die kleinräumige Heterogenität eines Schlages ermöglicht einerseits eine höhere Wirtschaftlichkeit der Pflanzenproduktion und andererseits eine Verringerung von Umweltbelastungen (RÖSCH et al. 2005, S. 27). Die Ergebnisse der „Wulfen-Studie“ der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming in Kapitel 3 dieser Arbeit bestätigen diese Aussage.

Ziel der Forschungsarbeit der volkswirtschaftlichen Analyse des Precision Farming war es nun, einen Indikator zur Erfassung dieser *schlaginternen Heterogenität* zu entwerfen, um die Hypothese „der volkswirtschaftliche Sinn und eine betriebswirtschaftliche Rentabilität von Precision Farming hängen entscheidend von der schlaginternen Heterogenität ab“ zu überprüfen. Der *Heterogenitätsindikator* soll genutzt werden, um die Abhängigkeit der Ergebnisse der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming von der schlaginternen Heterogenität zu untersuchen. Nach Möglichkeit soll ein *Schwellenwert der gesamtwirtschaftlichen Rentabilität von Precision Farming* aufgestellt werden. Die zu testende Hypothese ist dabei, dass die gesamtwirtschaftlichen Vorteile (der Gesamt(netto)nutzen der Nutzen-Kosten-Analyse) mit zunehmender schlaginterner Heterogenität ebenfalls ansteigen.

##### 4.1 Methoden und Datengrundlage

Eine der wichtigsten Einflussgrößen im Precision Farming ist die schlagspezifische Heterogenität. Daran misst sich, ob sich der Einsatz der Precision-Farming-Technologie auf einem bestimmten Standort (Feld, Schlag) lohnt oder nicht, d. h. der Einsatz der Precision-Farming-Technologie hängt von einem bestimmten Grad der Heterogenität des Schlages ab.

In der deutschen Literatur ist bisher kein allgemeingültiger und in der Praxis der Landwirtschaft verbreiteter „Standard“ auszumachen, der die Heterogenität im Schlag („schlaginterne Heterogenität“) auch in ökonomischer Hinsicht beschreibt. Vielmehr gibt es eine Vielzahl von Methoden und Ansätzen, wie bspw. bodenbezogene räumliche, inhaltliche oder kombinierte Heterogenitätsmaße, die teilweise mit Hilfe statistischer Methoden und Parametern aus unterschiedlichen Disziplinen

(bspw. Boden-Geophysik, Naturschutz-Biodiversität, Ertragskartierung etc.) versuchen, die Heterogenität eines Standortes zu messen und daraus für den jeweils betrachteten Sachverhalt (Fragestellung) Aussagen zu treffen.

Um aber den Nettonutzen einer Einführung von Precision Farming in Beziehung zu seiner schlaginternen Heterogenität bringen zu können und daraus Aussagen ableiten zu können, ist in Teilprojekt 5 des pre-agro-II-Projektes in der vorliegenden Arbeit ein schlagspezifischer und ökonomisch verknüpfter Heterogenitätsindikator entworfen worden. Die relative Abweichung der Erträge eines spezifischen Schlages (schlagintern) von ihrem Mittelwert (Variationskoeffizient) in einem Jahr, berechnet auf Versuchsfeldern der Fallstudie Wulfen bilden die Grundlage für den neu entwickelten Heterogenitätsindikator (HEI). Die ökonomische Verknüpfung des HEI erfolgt dann über den errechneten Nettonutzen/ha der Fallstudie Wulfen.

Auf Basis des Heterogenitätsindikators HEI und dessen exemplarischen Schwellenwerten für einen volkswirtschaftlich lohnenswerten Einsatz von Precision Farming im Landbau konnten in einem weiterführenden Ansatz Precision-Farming-Potenzialflächen für Ostdeutschland abgeschätzt werden. Grundlage der regionalen Schätzung ist die einfache Übertragbarkeit des HEI. Mit Hilfe des Ertragsschätzungsmodell nach MIRSCHEL et al. (2006 und KINDLER 1992), welches auf der Mittelmaßstäbigen Standortkartierung (MMK, SCHMIDT und DIEMANN 1991) für Ostdeutschland basiert, konnten die geschätzten Erträge auf regionaler Skala (Ostdeutschland) ermittelt werden. In einem zweiten Schritt ist dann diese Ertragsschätzung mit Verwaltungskarten für Ostdeutschland (Daten von 2001) verknüpft worden, so dass der Variationskoeffizient der Erträge (HEI) für jede Gemeinde in Ostdeutschland abgeschätzt (errechnet) werden konnte. Diese Regionalisierung erfolgte in Zusammenarbeit mit Teilprojekt 14 (Integrative Standortanalyse) und Teilprojekt 15 (Modellgestützte Generierung von Ertragserwartungskarten) des pre-agro-II-Projektes.

Die Abschätzung der Precision-Farming-Potenzialflächen (bei versch. Schwellenwerten des HEI) nach obigem Ansatz ist in ihrer Aussagekraft aber erheblich eingeschränkt. Es können nur Aussagen getroffen werden, ob eine Gemeinde innerhalb ihrer Verwaltungsgrenzen insgesamt als lohnenswert für einen Precision-Farming-Einsatz gelten kann oder nicht. Dies konnte, gestaffelt nach Schwellenwerten des HEI, visuell für Ostdeutschland dargestellt werden. Eine spezifischere Identifizie-

rung der für Precision Farming lohnenswerten Ackerflächen (nicht bewässerte Ackerflächen) für Ostdeutschland ist aber schließlich doch über Verschneidung der Ergebnisse des HEI-Ansatzes mit dem „CORINE“-Programm<sup>75</sup> gelungen.

Unter der Annahme, dass die Ergebnisse der Wulfen-Studie repräsentativ und übertragbar für ganz Deutschland seien, konnte so die Hochrechnung des Nettonutzens des Precision Farming der Wulfen-Studie für Ostdeutschland<sup>76</sup> erfolgen.

So erfolgte zwar eine Hochrechnung des Nettonutzens des Precision Farming für Westdeutschland bzw. Gesamtdeutschland auf Grundlage der Getreide- bzw. Winterweizen-Anbaufläche 2006 aus der Statistik, wird aber nicht als zufriedenstellendes Ergebnis angesehen, da der oben beschriebene Ansatz zur Ermittlung von Precision-Farming-Potenzialflächen nicht auch für PF-Ackerflächen in Westdeutschland möglich war<sup>77</sup>. Die Fehler dieser groben und allzu vereinfachenden Schätzung sind zu groß.

So stellt schließlich nur der *Gesamtnettonutzen einer flächenweiten Einführung von Precision Farming für Ostdeutschland* ein Ergebnis der volkswirtschaftlichen Analyse des Precision Farming dar, das auch die Autorin mit gutem Gewissen verteidigen kann.

## 4.2 Heterogenitätsmaße in der Literatur

Wie bereits erwähnt, gibt es in Deutschland<sup>78</sup> keine allgemeingültige und praxisreife „Standardmethode“, die die Heterogenität im Schlag beschreibt. Die Vielzahl der Fragestellungen und das Fehlen eines Standards führten bisher zu einer Methoden-

---

<sup>75</sup> CORINE: Synonym für „Koordinierte Erfassung von Informationen über die Umwelt“, Coordination of Information on the Environment, ist ein Programm zur einheitlichen Erfassung der Bodendeckung bzw. Landnutzung für den gesamten europäischen Raum. Die Daten werden in Form eines Geographischen Informationssystems (GIS) aufbereitet und stehen der Öffentlichkeit zur Verfügung (UMWELTBUNDESAMT ÖSTERREICH 2010).

<sup>76</sup> Der Begriff „Ostdeutschland“ fasst folgende Bundesländer zusammen: Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen, Sachsen-Anhalt, Thüringen. „Westdeutschland“: Baden-Württemberg, Bayern, Hessen, Niedersachsen, Nordrheinwestfalen, Rheinland-Pfanz, Saarland, Schleswig-Holstein.

<sup>77</sup> Aufgrund fehlender Datenbasis, d. h. es gibt keine MMK oder der MMK vergleichbaren Daten für West-Deutschland, die als Basis zur Abschätzung der PF-Potenzialflächen/Ackerflächen dienen könnten. Eigene Erhebung der erforderlichen Daten durch das Teilprojekt 5 des pre-agro-II-Projektes war nicht zu realisieren aufgrund fehlender Kapazitäten.

<sup>78</sup> vgl. dazu BELL und MC COY 1991, HERBST und LAMP 1998, LAMP et al. 1998 und MÜLLER 2002

vielfalt, die eine Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Arbeiten erschwert und kaum allgemeingültige Aussagen zulässt. Beinahe jede Arbeitsgruppe verwendet ihre eigene Methodik zur Beschreibung von Heterogenität, häufig auch bei vergleichbaren Fragestellungen, so dass BELL und MCCOY (1991, S. 5) von „endemischen Ansätzen“ sprechen.

Hier wird nun kurz dargestellt, welche Ansätze zur Heterogenität in der Literatur existieren. Der Fokus zielt dabei auf Heterogenität zum Einsatz der Technologie des Precision Farming. (Diese kurze Literaturstudie erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und möchte sich deutlich von Ansätzen, die auf der Reichsbodenschätzung basieren, abgrenzen.)

### *Definition*

Der Begriff der Heterogenität beschreibt eine Ungleichheit innerhalb eines betrachteten Systems. Die standörtliche Heterogenität beschreibt Ungleichheiten der Standortfaktoren innerhalb eines geographischen Raumes, die auf der Variation der unterschiedlichen Standortfaktoren und der räumlichen Ausdehnung ihrer einzelnen Ausprägungen beruhen (MÜLLER 2002, S. 6). Der Begriff der „schlaginternen Heterogenität“ beschreibt dabei die spezifische Heterogenität innerhalb der kleinsten Regeleinheit eines landwirtschaftlichen Betriebes, des Schlages.

Heterogenität tritt prinzipiell makro- bis mikroskalig in sehr unterschiedlichen Größenordnungen (global, zonal, regional, bis lokal) auf und kann innerhalb verschiedener Bezugseinheiten erfasst werden (Land, Kreis, Feld, Schlag etc.). In der konventionellen landwirtschaftlichen Bodennutzung wurde der Schlag vom Betrieb als kleinste „Regeleinheit“ angesehen. In der teilflächenspezifischen Pflanzenproduktion des Precision Farming wird der einzelne Schlag jetzt zur größtmöglichen Einheit. LAMP et al. (1998, S. 10) definieren die kleinräumige Heterogenität eines Schlages analog zu unserer eingangs beschriebenen Hypothese folgendermaßen: „Nur wenn eine (ökonomisch oder ökologisch) relevante Boden- und Pflanzenheterogenität innerhalb der Felder auftritt, ist sie für die teilflächenspezifische Pflanzenproduktion interessant“. Offen bleibt allerdings weiterhin die Frage nach der relevanten Heterogenität für den Einsatz von Precision Farming und somit dessen Vorteilhaftigkeit.



### *Arten der Heterogenität*

LAMP et al. (1998, S. 8 ff.) beschreiben, dass sich Heterogenität bzgl. der speziellen Fragestellung des Precision Farming auf drei Arten abbilden lässt. Von besonderem Interesse ist die *Heterogenität der Bodenfruchtbarkeit (a)* (Bodenart und Bodenstruktur, Humusgehalt, Nährstoffe, Mikroklima) innerhalb eines Schlags. Variabilitäten dieser Art entstünden oft durch die Kombination geogener, pedogener und anthropogener Prozesse der Bodenbildung. Deren Ursachen können differenzierend wirken auf die *Heterogenität der Kulturpflanzen (b)*. So hätte das zunächst einmal Auswirkungen auf die Entwicklung der Kulturpflanzen (Phänologie, Morphologie), dann auf das Wachstum (Masse, Kornertrag) und zuletzt auch auf Qualitätsmerkmale (Eiweiß- und Stärkegehalt u. a.). Dabei stellen die lokalen Erträge eine besondere Art der Kulturpflanzen-Heterogenität dar. Sie sind lt. LAMP et al. (1998, S. 8) „zugleich Indikator und Ursache für andere Heterogenitäten“. In Wechselwirkung mit den Kulturpflanzen und auch in Abhängigkeit von Bodenmerkmalen tritt als dritte Art die *Heterogenität von Schadorganismen (c)* (bzgl. Ungräsern, Unkräutern, Krankheiten und Schädlingen) auf.

### *Dimensionen*

Kleinräumige standörtliche Heterogenität beinhaltet sowohl einen räumlichen als auch einen inhaltlichen Aspekt der Heterogenität der Standortparameter (MÜLLER 2002, S. 7).

Im strengen Sinn bedingt die kleinräumige Heterogenität lt. LAMP et al. (1998, S. 11) eine dreidimensionale Erfassung der Eigenschaften von Böden und Pflanzen, also Raum, Inhalt und Zeit. Alle bisherigen Geo-Informationssysteme (GIS), die zur Erfassung und Auswertung von Schlagdaten in der teilflächenspezifischen Pflanzenproduktion eingesetzt werden, sind aber zweidimensional arbeitende Systeme, so dass durchaus von einer Heterogenität in der Fläche gesprochen werden kann<sup>79</sup>.

### *Erfassung der Heterogenität*

Die Erfassung der Heterogenität in der Technologie des Precision Farming kann verschiedentlich erfolgen. Dies kann einmal durch Ableitung aus allgemeinen, vorab

---

<sup>79</sup> Allein computergestützte Landschafts-Bodenmodellierung kann der dreidimensionalen Erfassung gerecht werden.

gegebenen Erfahrungen und Erkenntnissen, also *deduktiv (a)*, erfolgen. Andererseits führt eine *induktive (b)* Erfassung, die Auswahl einzelner zufallsverteilter Stichprobenelemente, zu einer Schätzung der Parameter der Gesamtheit<sup>80</sup> sowie deren geostatistischen Werteverteilung in der Fläche. Bei *gemischten Verfahren (c)* werden Vorinformationen ausgenutzt, um aus vorgegebenen Teilschlägen Zufallsstichproben effektiver ziehen und auswerten zu können. Zuletzt können auf dem *iterativen (d)* Wege zunächst vorhandene Erfahrungen oder Erfassungen für eine erste Stratifizierung genutzt und bei Bedarf kann dann der Aufwand nur in Arealen/Parametern mit ungenügender Schätzung erhöht werden (LAMP et al. 1998, S. 12).

#### *Räumliche und inhaltliche Ansätze*

Viele Arbeiten in der Literatur konzentrieren sich auf die Beschreibung und Quantifizierung der räumlichen Komponente der Heterogenität. Räumliche Heterogenität beruht dabei auf inhaltlichen Unterschieden der verschiedenen Parameter, berücksichtigt aber nicht die Art oder die Intensität der inhaltlichen Unterschiede, sondern nur das räumliche Muster, das sich aufgrund der inhaltlichen Differenzierungen ergibt (MÜLLER 2002, S. 7). In der Mittelmaßstäbigen Standortkartierung der DDR (MMK) (SCHMIDT und DIEMANN 1991) wird bspw. die räumliche Heterogenität über eine Kombination der Anzahl und des Flächenanteils der in der Kartiereinheit vorkommenden Leitbodenform beschrieben, die in einer Matrix zu drei Klassen zusammengefasst werden.

Anders verhält es sich mit der *inhaltlichen Heterogenität*. Die inhaltliche Heterogenität eines Areals beschreibt dabei den Kontrast zwischen den einzelnen Ausprägungen eines Parameters innerhalb dieses Areals. Je unterschiedlicher die einzelnen Ausprägungen sind, desto stärker ist der Kontrast und desto größer ist die inhaltliche Heterogenität (MÜLLER 2002, S. 9). Auch hier hat bspw. die Mittelmaßstäbige Standortkartierung (MMK) nach SCHMIDT und DIEMANN (1991) zwei Parameter definiert. Für diese wird zunächst einzeln die Kontraststärke zwischen den in einer Kartiereinheit auftretenden Parameterklassen bestimmt. Hierbei werden drei Klassen des Kontrastes unterschieden. Aus diesen drei ordinalen Kontraststufen für die beiden Parameter ergeben sich nun neun Kombinationsmöglichkeiten, die dann die inhaltlichen Gesamtheterogenitätsstufen darstellen. Um die inhaltliche Heterogenität zu bestim-

---

<sup>80</sup> Lage- und Streumaße der klassischen Statistik

men, müssen mindestens zwei unterschiedliche Ausprägungen eines oder mehrerer Parameter miteinander verglichen werden, um so den Kontrast quantifizieren zu können. Dies erfolgt in der Literatur meist über statistische Verfahren der Standardabweichung, Ähnlichkeits- und Distanzmaße oder aber auch über die lineare oder multiple Regression. Vorteil der Distanzmaße und der Regressionsanalyse, im Gegensatz zu dem Maß der Standardabweichung, ist u. a., dass mehrere Parameter gleichzeitig betrachtet werden können und die Ausprägung der Extremwerte nicht durch Einbeziehen aller Werte relativiert wird (MÜLLER 2002, S. 10).

*Kombinierte Ansätze* zur gleichzeitigen Erfassung und Quantifizierung der räumlichen und inhaltlichen Heterogenität sind in der Literatur selten anzutreffen. HERBST und LAMP (1998, S. 33 ff.) entwickelten dazu eine eigene Methode zur Bestimmung der kleinräumigen Heterogenität der Böden Deutschlands, um das Akzeptanzpotenzial der Technologie des Precision Farming für einzelne Agrarräume Deutschlands abschätzen zu können. Dafür wurden zwei Aspekte der räumlichen Heterogenität (räumliche Distanz der Hauptvariabilität der Böden und die Flächendeckung des Leittyps) mit einem Aspekt der inhaltlichen Heterogenität (taxonomischer Kontrast der Böden) in Klassen unterteilt und so in einer Matrix kombiniert, dass eine neunstufige Gesamtheterogenitätszahl formuliert werden konnte. Grundlage dieser Erfassung der kleinräumigen Heterogenität ist die BÜK 1000<sup>81</sup>, da nur damit flächendeckend für die Gesamtfläche Deutschlands Daten zur Verfügung standen. Somit ist das von HERBST und LAMP entwickelte Maß der Bodenheterogenität ein Maß, das den räumlichen und inhaltlichen Aspekt vereint.

#### *Ansätze aus der Geostatistik*

Im Bereich des Precision Farming werden nach LAMP et al. (1998, S. 12 ff.) Verfahren der Geostatistik zur Erfassung der kleinräumigen Heterogenität propagiert. Anwendung finden die induktiven Methoden der *repräsentativen Elementarfläche (REF)* und der *Variogramme*. Die REF ist als „einfacheres Verfahren“ gegenüber dem Variogramm zu verstehen. Es werden dabei Stichproben aus einem bestimmten Volumen bzw. einer definierten Fläche entnommen und an der Größe der Regeleinheit ausgerichtet. Beim Variogramm lassen sich „Nachbarschaftsbeziehungen“ (räumliche Autokorrelation) einzelner Boden- und Pflanzenparameter analysieren. In

---

<sup>81</sup> Bodenkundliche Übersichtskarte im Maßstab 1:1 Mio., 1995

die geostatistische Schätzung der Flächenheterogenität gehen durch Interpolation die distanzabhängigen Semivarianzen als Gewichtung ein. Dieses Verfahren ist zwar rechenaufwendig, liefert aber statistisch optimale Schätzwerte. Ganz unproblematisch ist die geostatistische Erfassung der Heterogenität allerdings nicht. So können in der praktischen Durchführung durchaus „verfälschte“ Karten erzeugt werden, die irrtümlicherweise als real angesehen werden.

#### *Heterogenität und Raumzuordnung (rechnergestützte Landschafts-Boden-Modellierung)*

Da die Punktdichten und Erhebungskosten bei der rein induktiven Erfassung der Bodenheterogenität in der Anwendung der Precision-Farming-Technologie oft sehr hoch werden, ist lt. LAMP et al. (1998, S. 15) von der AG „Bodeninformatik“ an der Universität Kiel ein grafisch-interaktives Expertensystem zur Modellierung von Bodendecken entwickelt worden, um dem Anspruch des Bodens als eigentlich dreidimensionales Gebilde gerecht zu werden. Diese Landschafts-Bodenmodellierung soll das in formale Regeln gefasste Fachwissen der Bodenexperten und die Erfahrungen des Landwirtes raumdeckend vorhersagen. Die Nachteile der Modellierung an sich, bspw. Abstrahierung sollen an dieser Stelle nur erwähnt bleiben.

#### *Aussagen in der Literatur zu Heterogenität(-sgrenzen)*

Im Verbundprojekt pre agro I „Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau“ haben sich zwei der zahlreichen Teilprojekte etwas intensiver mit der Thematik der Heterogenität auseinandergesetzt. Zum einen ist es das Teilprojekt mit der Forschergruppe um ROTH et al. (2004), die sich mit der ortsspezifischen Aussaat von Winterweizen beschäftigt hat, zum anderen ist es die Gruppe um WINDHORST et al. (2004), die den regionalen Stoffhaushalt untersuchte. Diese beiden Gruppen haben aus ihrer Forschungsarbeit heraus Heterogenitätsgrenzen der Vorteilhaftigkeit eines Einsatzes von Precision Farming formuliert, die im Folgenden kurz dargestellt werden sollen.

ROTH et al. (2004, S. 109) schlagen vor, die Ergebnisse der Saatmassenberechnung innerhalb ihres neu entwickelten Saatmoduls mit dem Argument kritisch zu prüfen,

dass erst bei Vorliegen bestimmter „Mindestunterschiede“ zu drillen sei, also es lohnenswert sei, teilflächenspezifisch zu wirtschaften<sup>82</sup>.

Als Mindestunterschiede formulieren ROTH et al. (2004, S. 109) zunächst *Unterschiede im Schätzertrag* zwischen den Polygonen, die mind.  $\geq 10$  dt/ha betragen sollen. Eine *Begrenzung der Mindestfläche für differenzierte Bearbeitung* wird auf  $\geq 400$  m<sup>2</sup> festgesetzt. Schließlich solle dann ein *Unterschied* von  $\geq 15$  kg/ha zwischen den *berechneten Saatmassen* liegen. Tendenziell sei nach weiterer Erprobung sogar eher eine Vergrößerung der postulierten „Mindestunterschiede“ zu erwarten.

Im Rahmen des Teilprojektes „Regionaler Wasserhaushalt“ (WINDHORST et al. 2004, S. 86 f.) wurde auf der Grundlage von Modellrechnungen (WASMOD<sup>83</sup>) abgeschätzt, in welchem Maße die Einführung von teilschlagspezifischen Anbaumethoden Konsequenzen auf den Landschaftswasser- und Stoffhaushalt hat. Die hierzu durchgeführten Arbeiten zur Modellparametrisierung und Ausweisung unterschiedlicher Standortsensitivitäten wurden auf der Basis flächenhaft vorliegender Gebietsdaten durchgeführt. In Abhängigkeit von der Standortheterogenität erfolgte dabei durch Überlagerung von Boden-, Relief-, Nutzungs- und Grundwasserinformationen die Abgrenzung von in sich homogenen Teilarealen. So stellt für WINDHORST et al. (2004) *die durchschnittliche Größe der so festgelegten räumlichen Basiseinheit* ein Maß für die Standortheterogenität dar und wird nur ordinal skaliert.

### *Schlussfolgerungen*

Die kurze Darstellung einiger beispielhafter Ansätze zur Beschreibung und Erfassung einer schlagspezifischen Heterogenität zeigt, wie vielfältig das Angebot an Maßen und Indikatoren ist. Dies hat sicherlich damit zu tun, dass auch die Fragestellungen, zu deren Beantwortung die Heterogenität dienen soll, recht unterschiedlich sind. Aber selbst innerhalb des Bereiches des anwendungsorientierten Precision Farming ist die Spanne der anzutreffenden Ansätze recht groß und kein „einheitliches“ Maß oder gar Standard griffbereit. Umso merkwürdiger erscheint dieses Fehlen eines grundsätzlichen Heterogenitätsmaßes, da sich der Großteil der Autoren in der Preci-

---

<sup>82</sup> Andernfalls solle durch Zusammenfassung benachbarter (ähnlicher) Teilflächen ein ausreichend großer, d. h. auch eine Wirkung der teilflächenspezifischen Bearbeitung versprechender, Unterschied gesichert werden.

<sup>83</sup> WASMOD: Water and substance simulation model

sion-Farming-Literatur darüber einig ist, dass sich der Einsatz der Precision-Farming-Technologie im Pflanzenbau erst ab einem bestimmten Grad der Heterogenität lohnt. Doch welche Indikatoren geeignet und was ganz konkret die Grenzen sind, darüber herrscht Uneinigkeit.

Bis auf einige Ausnahmen handelt es sich bei den Heterogenitäts-Maßen um Ergebnisse aus der Forschung, die für einen spezifischen Fall entwickelt wurden (wenige ausgewählte Standorte) und deren Übertragbarkeit erst zu prüfen wäre. Ein weiterer Nachteil der bestehenden Maße besteht in der Komplexität ihrer Berechnung oder Erfassung. Ein Transfer in die Praxis der Landwirtschaft ist teilweise schwer möglich. Somit steht dem Informationsgewinn eine entsprechende Informationskostensteigerung gegenüber. Auch für den Landwirt stellt es sich als höchst unwahrscheinlich heraus, über einen Zugang zur Mittelmaßstäbigen Standortkartierung mit der entsprechenden Software zu verfügen, um aus der Fülle der Informationen die entsprechenden Heterogenitäten der in Frage kommenden Standorte abzulesen. Zudem ist die Mittelmaßstäbige Standortkartierung (MMK) mit ihrem räumlichen und inhaltlichen Heterogenitätsansatz<sup>84</sup> nur für Ostdeutschland verfügbar.

So wird im Folgenden ein praxisrelevanter und leicht handhabbarer Heterogenitätsindikator entworfen. Dieser soll vor allem der Entscheidungsunterstützung des Landwirts dienen, der sich die Frage stellt, ob sich der Einsatz der Precision-Farming-Technologie auf dem eigenen bestimmten Schlag x lohnt oder nicht. Im Gegensatz zu den vorwiegend inputorientierten Ansätzen und Indikatoren in der Literatur wird nun ein output- oder ergebnisorientierter Heterogenitätsindikator vorgestellt.

### 4.3 Der Heterogenitätsindikator HEI

Gesucht wird also ein Indikator, der für die Umsetzung einer bestimmten Zielbestimmung, in diesem Falle der Bestimmung der Vorteilhaftigkeit der schlaginternen Heterogenität, Grundvoraussetzung ist. Indikatoren sind in diesem Zusammenhang Kenngrößen zur Abbildung eines bestimmten Sachverhaltes. Sie erlangen ihre Funktion nur in einem bestimmten Verwendungszusammenhang. Die an Indikatoren zu

---

<sup>84</sup> bodenbezogen

stellenden Anforderungen können sich dabei nach einem adäquaten Raum-, Zeit- und Sachbezug unterscheiden (WIGGERING und MÜLLER 2004, S. 10).

Zum Zwecke der volkswirtschaftlichen Analyse sollte ein Heterogenitätsindikator folgenden Anforderungen genügen: Er sollte auf jeden Fall *standortbezogen* und *einfach*, zudem *verständlich* und *praktikabel* sein. Die für Precision Farming relevante Standortheterogenität müsste inhaltlich zutreffend erfasst sein. Als weitere wichtige Voraussetzung sollte sich dieser Heterogenitätsindikator als *kostengünstig* erweisen. Daneben müsste ein Heterogenitätsindikator *leicht aktualisierbar*, aber auch *genau* und vor allem *sicher* sein. Die Erfassung und Aktualisierung dieses Indikators sollte außerdem im Interesse einer Vermeidung von Messfehlern, einfach und kostengünstig sein.

Unter besonderer Berücksichtigung der Anforderungen an einen Heterogenitätsindikator erscheint der *Ertrag* (output-orientiert) als *geeignete Variable für ein Heterogenitätsmaß*. Die teilflächenspezifische Ertragsermittlung ist für alle landwirtschaftlichen Anbaukulturen von Bedeutung. Auf ihr baut die Ertragskartierung auf, die flächenhaft darstellt, wie sich unterschiedliche pflanzenbauliche Maßnahmen auf den Ertrag ausgewirkt haben (LUDOWICY et al. 2002, S. 42). Die Ertragskartierung ist somit einerseits ein wichtiges Kontrollinstrument, Ursachen für Ertragsschwankungen zu analysieren und andererseits, um künftige pflanzenbauliche Maßnahmen daraus abzuleiten. In der Praxis des Precision Farming wird der Ertrag während des Dreschens kontinuierlich (alle 1–5 Sekunden als Punktdaten) ermittelt und auf einem Datenlogger gespeichert (HÜTER et al. 2005, S. 16). Ertragserfassung für Getreide ist seit längerem praxisreif und wird von allen führenden Mähdrescherherstellern angeboten (LUDOWICY et al. 2002, S. 42).

In der Literatur lassen sich Bestätigungen finden, die die Eignung von Ertragsdaten zur Standortcharakterisierung als Grundlage einer Heterogenitätsbestimmung dokumentieren. So vermerken BOESS et al. (2002, S. 98), dass sich Zusammenhänge in Ernteertragsdaten mit der Bodenentwicklung (für das dort untersuchte Gebiet) abzeichneten. Vielfach wird bemerkt, dass Ertragskartierung sogar die Standortheterogenität differenzierter abbildet als dies Bodenparameter können (bspw. als in der Mittelmaßstäbigen Standortkartierung oder mit der Reichsbodenschätzung). Standortinformationen über Boden und Relief allein können die Dynamik der Pflanzenbestände in der Zeit nicht ausreichend berücksichtigen (WERNER et al. 2002, S. 196).

Da Heterogenität eine Ungleichheit innerhalb eines betrachteten Systems beschreibt, wird sie im vorliegenden Fall über Ungleichheiten im Ertrag auf den einzelnen Teilflächen abgebildet.

#### 4.3.1 Quantifizierung des Heterogenitätsindikators HEI

Um inhaltliche Heterogenität bestimmen zu können, müssen mindestens zwei unterschiedliche Ausprägungen der gewählten Variablen, hier des Ertrages, verglichen werden. Auf diese Weise kann dann der Unterschied mittels einfacher statistischer Methoden quantifiziert werden. Da es sich in unserem Fall um nur eine Variable handelt, lassen sich die Ertragsunterschiede über die Standardabweichung darstellen. Für die Zufallsvariable  $x$  definiert sie sich als die positive Quadratwurzel aus deren Varianz.

$$\text{Stbwn} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

wobei, Stbwn = Standardabweichung  
 $n$  = Anzahl der Messpunkte  
 $x$  = Ertrag (Zufallsvariable)  
 $\bar{x}$  = Ertragsmittelwert  
 $x_i$  = Ertrag am Punkt  $i$

In unserer speziellen Fragestellung interessieren also nicht die absoluten Ertragshöhen, sondern die durchschnittlichen schlaginternen Ertragsunterschiede (Varianz, Standardabweichung an den verschiedenen Messpunkten) in einem Jahr bzw. Zeitablauf.

Das gesuchte Maß zu einer Quantifizierung des Heterogenitätsindikators müsste folglich in jedem Punkt auf einem Schlag einen Wert erhalten, der die Abweichung vom Mittelwert in einem Jahr beschreibt, ggf. sogar in % ausdrückt, als relative Abweichung. Diese prozentualen Abweichungen ließen sich dann auch bei Vorliegen der Ertragsdaten mehrerer Jahre als Durchschnittswert berechnen. In der Statistik trifft dies auf den Variationskoeffizienten zu. Dieser wird nun im Folgenden als *Heterogenitätsindikator (HEI)* genutzt. Der HEI wird somit über das Maß des *Variationskoeffizienten der Erträge* gemessen.

Der Variationskoeffizient (VK) drückt die Standardabweichung in Einheiten vom Mittelwert der jeweilig betrachteten Verteilung aus, d. h. die Standardabweichung wird durch den Ertragsmittelwert geteilt. Da es sich beim Variationskoeffizienten um einen Anteilswert handelt, wird dieser Quotient mit 100 multipliziert. Der VK, und



somit auch der HEI, beschreibt also als Prozentzahl die durchschnittliche Abweichung vom Ertragsmittelwert eines Schläges in einem Jahr.

$$\text{Variationskoeffizient} = \frac{\text{Standardabweichung}}{\text{Ertragsmittelwert}} \times 100 \quad (\text{der Erträge eines Schläges})$$

Bestätigung unserer Überlegungen finden sich in der Literatur bereits bei KNOOP et al. (1985, S. 656). In ihrem Artikel beschreiben die Wissenschaftler die Maße der Varianz, Standardabweichung oder des Variationskoeffizienten als traditionelle Maße zur Erfassung und Quantifizierung der flächenhaften Variabilität eines Merkmals im Raum. Dabei berücksichtigen aber obige Standardmethoden der Statistik raumstrukturelle und ortsabhängige Beziehungen zwischen den Merkmalswerten nicht. Diese finden nur in Methoden der Geostatistik Beachtung. Um aber die Prämissen der „einfachen“ und „praktikablen“ Anwendung des HEI zu erfüllen, wird auf den Aspekt der Einbeziehung der ortsabhängigen Beziehungen bei unserem Heterogenitäts-Ansatz bewusst verzichtet.

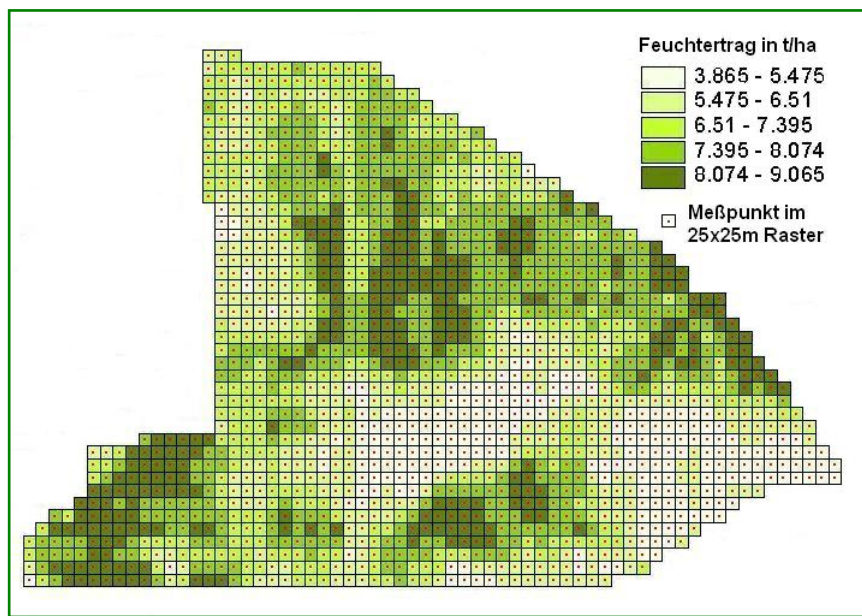
Zur Berechnung des Heterogenitätsindikators sind beispielhaft acht Getreideschläge (Kriterium: Datenverfügbarkeit) innerhalb der Fallstudie Wulfen ausgewählt worden. Ertragskarten standen für die Getreideernte 2005 und 2007 zur Verfügung (siehe Tabelle 17). Ertragskarten auf der Basis durchschnittlicher Ertragswerte mehrerer Jahre waren nicht verfügbar.

Grundlage zur Bestimmung des HEI sind im 25 m x 25 m-Raster interpolierte Ertragskarten, die aus Gründen der Datenverfügbarkeit den Feuchtertrag (in t/ha) berücksichtigen (siehe Abbildung 10). Die Ertragsdaten wurden dabei zunächst als Punktdaten des durchschnittlichen Ertrages (t pro ha) während des Dreschens alle drei Sekunden vom Mähdrescher aufgezeichnet. Die Interpolation basiert dabei auf einem geostatistischen Verfahren, das ein Raster aus Quadraten über die Messpunkte legt und für jede Rasterzelle einen distanzgewichteten Mittelwert aus den Punkten berechnet, die einen festzulegenden Abstand vom Zentrum der Rasterzelle (Suchradius) unterschreiten. Fehlerhafte Ertragsmesswerte sind über die „H-Methode“ identifiziert und eliminiert worden<sup>85</sup>.

---

<sup>85</sup> siehe dazu genauer: MUHR und NOACK 2004, S. 217 ff.)

Abbildung 10. Interpolierte Ertragskarte im 25 m x 25 m-Raster, Schlag 432 (93,1 ha)



Quelle: Eigene Erstellung (nach pre-agro-II-Projektdatenbank PREMIS (2006))

Bis hierhin ergibt sich kein Mehraufwand für den Landwirt. Mit Hilfe von Excel sind dann für jeden der acht Schläge die Standardabweichung und der Variationskoeffizient = HEI berechnet worden. Die meisten Programme der Landmaschinenhersteller zur Ertragskartierung liefern die Daten der Ertragswerte im geeigneten Format (bspw. für Claas im ASCII-Format), so dass diese problemlos in Excel einlesbar sind, und so sehr einfach die erforderliche Berechnung und Auswertung durch den Landwirt erfolgen könnte (JÜRSCHIK 2006). Denkbar ist auch, dass diese zusätzliche Auswertung der Ertragsdaten von Dienstleistern durchgeführt werden könnte, was lt. Fa. geo-konzept<sup>86</sup> mit vernachlässigbaren Mehrkosten verbunden wäre. Basis der Ergebnisbetrachtung sind die gemessenen Feuchterträge mit einem Messpunkt im 25 m x 25 m-Raster (dargestellt in Tabelle 17).

Pro ha ausgedrückt sind dies 16 Messwerte für die Berechnung des HEI. Das Raster von 25 m x 25 m ist deshalb als Basis zur weiteren Betrachtung und späteren Auswertung gewählt worden, da es am nächsten zur tatsächlichen Arbeitsbreite (24 m) der Landmaschinen vor Ort ist.

<sup>86</sup> geo-konzept GmbH. Gut Wittenfeld, 85111 Adelschlag, Projektpartner in pre agro II

Per Definitionen ist ein hoher Wert des Variationskoeffizienten mit einem hohen Wert des HEI und letztlich mit einer hohen schlaginternen Heterogenität gleichzusetzen. Dies gründet auf der Definition von Heterogenität, nämlich, dass sie eine Ungleichheit innerhalb eines betrachteten Systems beschreibt.

Tabelle 17. Ergebnisse der Berechnung zum schlaginternen Heterogenitätsindikator HEI

Jahr	Fruchtart	Schlag-Nr.	Schlaggröße in ha	Variationskoeffizient** in %
2005	WW*	231	82,64	17,62
	WW	431	34,50	12,86
	WW	<b>432</b>	<b>93,10</b>	<b>16,81</b>
	WW	631	118,92	16,57
2007	WW	221	46,00	12,38
	WW	262	58,10	12,55
	WW	<b>432</b>	<b>93,10</b>	<b>17,49</b>
	WW	631	114,00	12,21

\*WW: Winterweizen, \*\* des Ertrags in t/ha

Allgemein gesagt, lassen sich auf allen betrachteten Schlägen deutliche Ertragsabweichungen vom Mittelwert feststellen. Auf der Hälfte der Schläge liegen die Variationskoeffizienten (= HEI) bei ca. 17 % (Schlag 231, 432, 631 für 2005 und 432 für 2007). Die andere Hälfte der Schläge liegt bei ca. 12 % HEI. Allein schon aus betriebswirtschaftlicher Sicht betrachtet, sind solche Ertragsschwankungen innerhalb eines Schlages sicherlich nicht ganz unerheblich, was eine Maßnahmenanpassung über die Technologie des Precision Farming rechtfertigen und in ihrer Vorteilhaftigkeit bestätigen dürfte.

### 4.3.2 Ökonomische Verknüpfung des HEI

Voraussetzung für die ökonomische Verknüpfung des HEI ist die Annahme, dass der volkswirtschaftliche Gesamt(netto)nutzen des Precision Farming einer Kulturart eine Funktion des HEI abbildet:

$$\text{Nettonutzen PF (einer Kulturart)} = f(\text{HEI}) \text{ für jeweilige Region}$$

Für Schlag 432<sup>87</sup> ist in der vorangegangenen Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming ein Nettonutzen von minimal 38,98 €/ha (NN I, Karte<sup>88</sup>) bis maximal 398,56 €/ha (NN IV, Sensor) für das Jahr 2005 und für das Jahr 2007 ein Nettonutzen von minimal -29,00 €/ha (NN I, II, Karte) bis zu maximal 319,37 €/ha errechnet worden. Der durchschnittliche Wert des Nettonutzens liegt für 2005 bei 143,70 €/ha<sup>89</sup> und für 2007 bei 74,17 €/ha. Dieses Ergebnis kann nun in Beziehung zum HEI des Schlages 432 der Jahre 2005 (16,81 %) und 2007 (17,49 %) gesetzt werden (siehe Tabelle 17). Dem Nettonutzen der verschiedenen Jahre wird so in Abbildung 11 der jeweilige Wert des HEI zugeordnet. So kann einem HEI von 16,8 % ein Nettonutzen mit einer Spannweite von ca. 40 €/ha bis ca. 400 €/ha, durchschnittlich 143,70 €/ha zugeordnet werden. Einem HEI von 17,49 % kann ein durchschnittlicher Nettonutzen von 74,17 €/ha, mit einer Spannweite von ca. -30 €/ha bis zu ca. 320 €/ha zugeordnet werden (siehe Abbildung 11).

Aufgrund der Verfügbarkeit von nur zwei Werten aus zwei Jahren können keine weiteren Aussagen bzgl. der Entwicklung des Nettonutzens des Precision Farming in Abhängigkeit von der schlaginternen Heterogenität zur Beantwortung der eingangs aufgestellten Hypothesen getroffen werden.

Es lässt sich aber bzgl. des Nettonutzens als Funktion von HEI folgende Aussage treffen: Für einen exemplarischen HEI von ca. 17 % kann sich der Einsatz von Precision Farming in der Region Köthen für die Fallstudie Wulfen im Winterweizen lohnen. *Unter Annahme, dass die obigen Ergebnisse repräsentativ für weitere Regionen in Deutschland seien, stellt der Wert von 17 % HEI einen exemplarischen Schwellenwert der gesamtwirtschaftlichen Rentabilität von Precision Farming dar.*

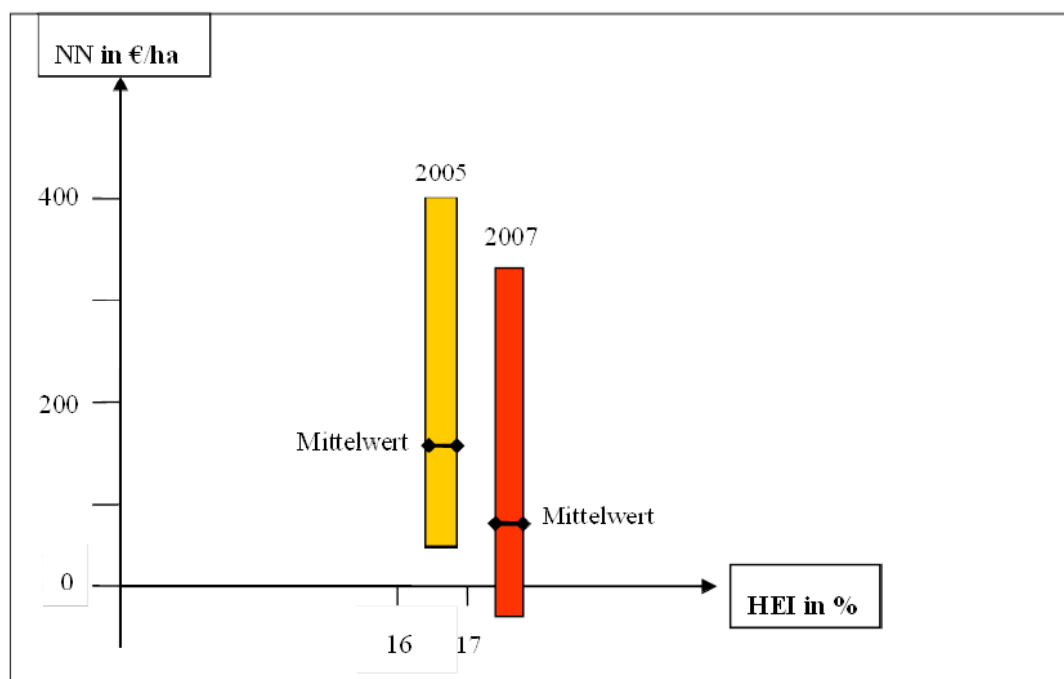
---

<sup>87</sup> des WIMEX Versuchsbetriebs der Wulfen-Studie

<sup>88</sup> NN: Nettonutzen, I-IV: Bewertungsstufen der monetären Bewertung, Karte-Sensor: PF-Strategie, genaueres siehe Tabelle 15

<sup>89</sup> Mittelwert der vier Bewertungsstufen I-IV für Min („Karte“) und Max („Sensor“), genaueres siehe Tabelle 15

Abbildung 11. Der Nettonutzen in Abhängigkeit vom HEI



#### 4.4 Identifizierung von Precision-Farming-Potenzialflächen

Die einfache Übertragbarkeit des HEI bildet die Grundlage weiterer Überlegungen zu einer Regionalisierung des schlagspezifischen HEI. Der Heterogenitätsindikator HEI kann auf jedem Feld in jeder Region errechnet werden, wenn nur der Ertrag während der Ernte mit Hilfe entsprechender Technologie erfasst wird<sup>90</sup>. Um aber den HEI auf regionaler Ebene zu erfassen, müssten auch Ertragsmessdaten auf regionaler Ebene (oder größer) verfügbar sein.

Innerhalb des pre-agro-II-Projektes war die Ertragsdatenerfassung auf größerer Skala als der Schlagebene nicht möglich. Deshalb mussten alternative Ansätze zu einer Regionalisierung des auf Schlagebene ökonomisch verknüpften HEI gefunden werden.

Grundlage hierzu bildet das Ertragsschätzungsmodell nach KINDLER (1992) und MIRSCHEL et al. (2006) in SAMT<sup>91</sup>. Da dieses Ertragsschätzungsmodell auf der mittelmaßstäbigen landwirtschaftlichen Standortkartierung (MMK nach SCHMIDT und DIEMANN 1991) aufbaut, konnten die Naturalerträge des Winterweizens auf regiona-

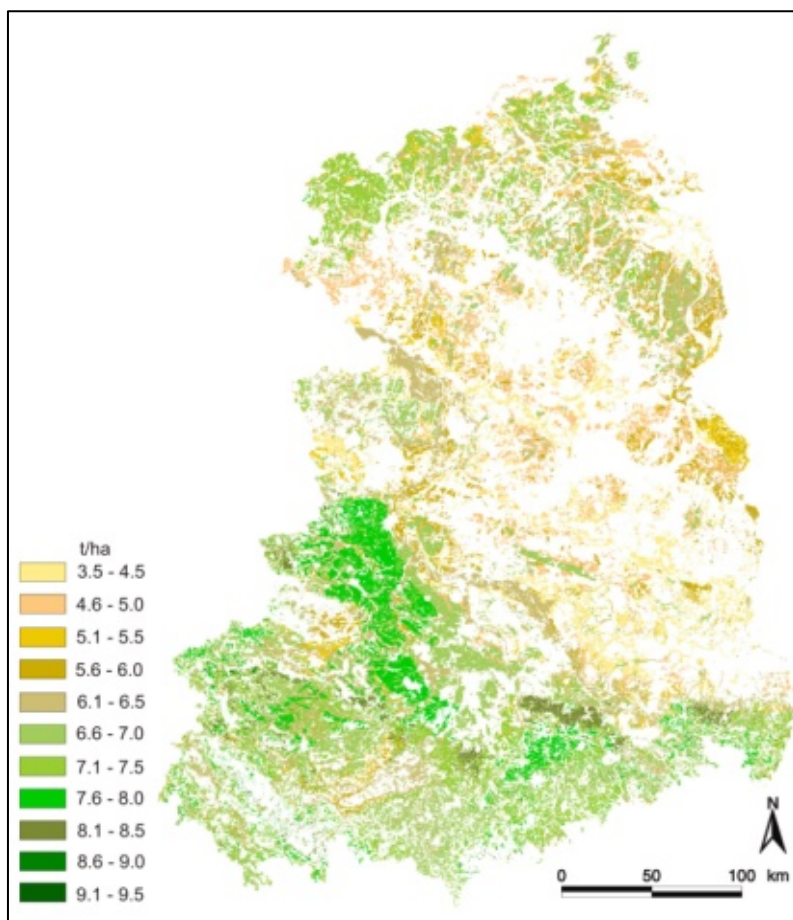
<sup>90</sup> was heute mehr und mehr zur Standardausstattung von Mähdreschern gehört

<sup>91</sup> Spatial Analysis and Modeling Tool

ler Ebene (innerhalb 1-ha-Zellen) für Ostdeutschland geschätzt werden (auf dem Niveau von 1990 bzgl. Pflanzenzüchtung und Betriebsmanagement) (siehe Abbildung 12).

So konnten auch alle relevanten Größen zur Ermittlung des Variationskoeffizienten (Durchschnittsertrag, Standardabweichung) abgeleitet und der HEI für die Region Ostdeutschland errechnet werden.

Abbildung 12. Ertragsschätzung Winterweizen, Ostdeutschland, Stand 1990, nach KINDLER (1992) und MIRSCHEL et al. (2006)



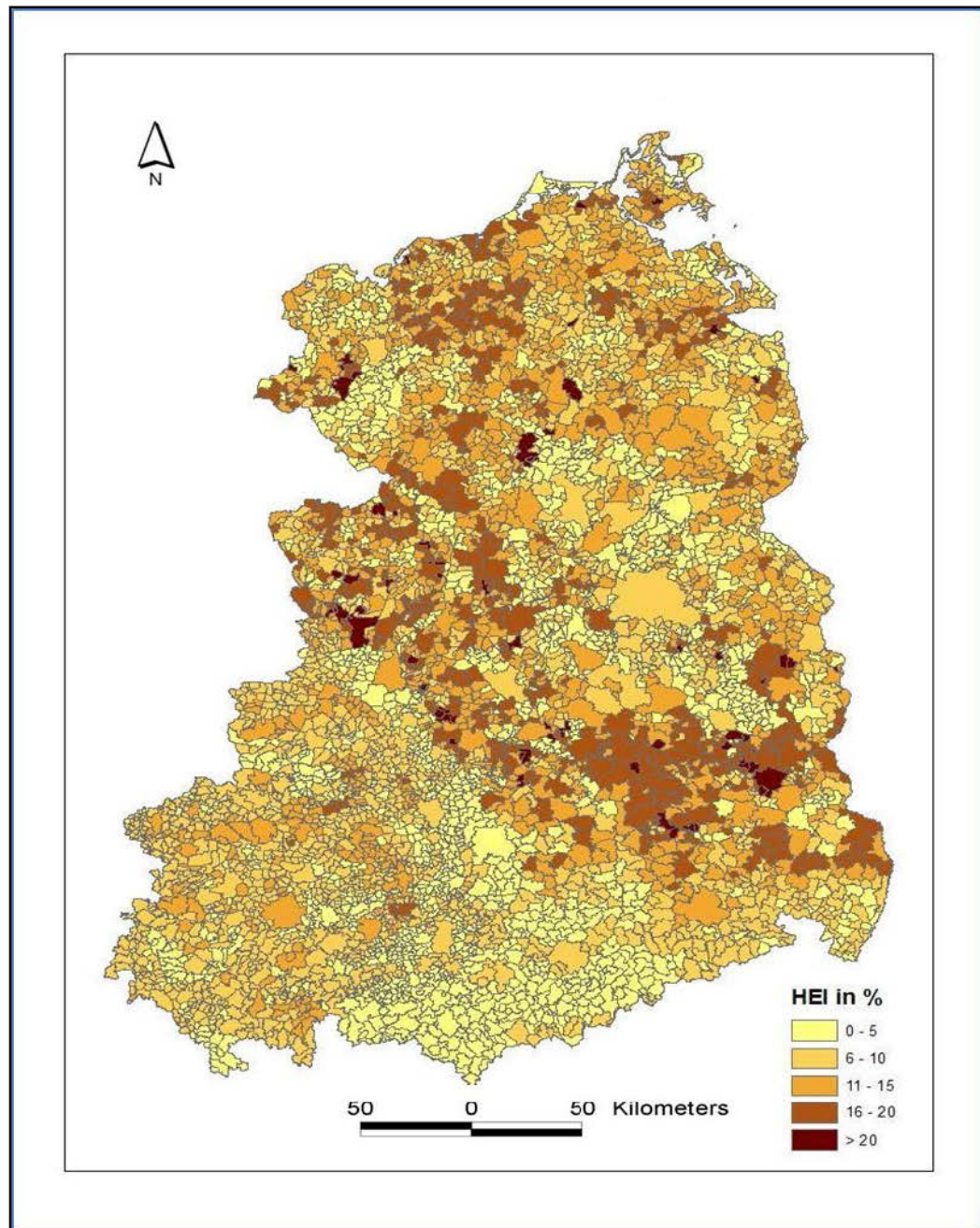
Quelle: Mirschel 2007

Durch das Verschneiden der Ertragskarte nach MIRSCHEL et al. (2006) mit der Verwaltungskarte Ostdeutschlands auf Gemeindeebene (INFAS, Stand 2001) wurde der relevante Wert des Heterogenitätsindikators HEI für jede Verwaltungseinheit geschätzt (berechnet). So konnte der schlagspezifische und wirtschaftlich verknüpfte HEI vom Feldniveau auf das Regionalniveau erfolgreich übertragen werden (siehe Abbildung 13).



Auf diese Weise können Aussagen zur Höhe des HEI in % oder betroffener Flächen-  
ausdehnung in km<sup>2</sup> stets auf Gemeindeebene getroffen werden, d. h. der spezifisch  
geschätzte HEI ist gültig für die gesamte Verwaltungseinheit einer Gemeinde. Spezi-  
fische Aussagen zur potenziell betroffenen Ackerfläche (Precision-Farming-  
Potenzialflächen) können also noch nicht getroffen werden.

Abbildung 13. HEI in Ostdeutschland auf Gemeindeebene, 2007



Quelle: Eigene Erstellung

So ist in Abbildung 13 auf dem Großteil der Flächen in Ostdeutschland der  $HEI \leq 15 \%$ . Nur ein schmales Band von der Region um Dresden über Magdeburg bis hoch zur Ostsee zeigt einen HEI von  $> 16 \%$ , also Flächen mit größerer Heterogenität. Da der exemplarische Schwellenwert eines lohnenswerten Einsatzes von Precision Farming bei ca. HEI 17 % liegt<sup>92</sup>, wäre folglich nur auf diesen Flächen der Einsatz von Precision-Farming-Technologien profitabel. Dies würde für 405 Gemeinden mit 12.056,41 km<sup>2</sup> Fläche insgesamt zutreffen. Zum Vergleich: Die Gesamtfläche Ostdeutschlands betrug im Jahre 2006 108.812 km<sup>2</sup>. Somit sind 11 % der Gesamtfläche Ostdeutschlands (ca. 12.000 km<sup>2</sup>) als solche Gebiete einzustufen, auf deren Ackerfläche (Getreidefläche) ein Einsatz von Precision Farming lohnenswert wäre.

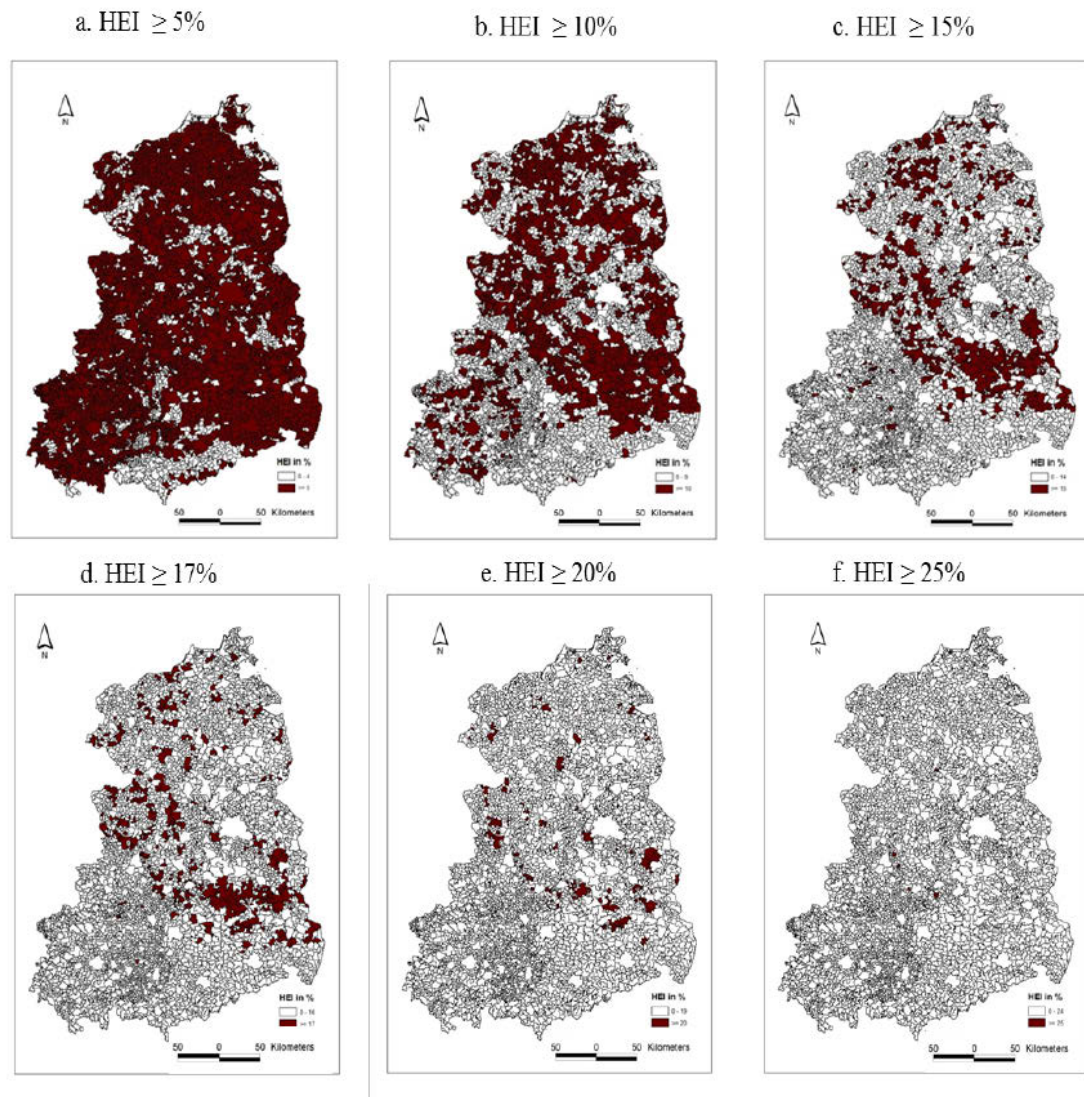
Da der Schwellenwert von 17 % HEI rein exemplarischen Charakter hat, könnten zum Vergleich auch andere Schwellenwerte als volkswirtschaftliche Rentabilitätsgrenze angenommen werden. So sind HEI Schwellenwerte von 5 %, 10 %, 15 %, 20 % und 25 % für Ostdeutschland berechnet und grafisch dargestellt worden. Die Ergebnisse sind in Abbildung 14 zu sehen.

---

<sup>92</sup> nach getroffenen Annahmen in Kapitel 4.3.2



Abbildung 14. Precision Farming Potenzialflächen,  $HEI \geq 5\%$  bis  $\geq 25\%$ , OstD 2007



Quelle: Eigene Erstellung

#### 4.5 Hochrechnung der Nutzen-Kosten-Analyse

Da genaue Aussagen zur potenziellen Precision-Farming-Getreidefläche bzw. Winterweizenfläche in Gesamtdeutschland über den bisher vorgestellten Ansatz nicht getroffen werden konnten, erfolgt eine erste Hochrechnung der Ergebnisse der Nutzen-Kosten-Analyse der Wulfen-Studie für Gesamtdeutschland anhand der Getreidefläche bzw. Winterweizenfläche aus der Statistik aus dem statistischen Jahrbuch für die BRD 2007 (STATISTISCHES BUNDESAMT DEUTSCHLAND 2007). Diese Hochrechnung basiert auf der Annahme, dass die Ergebnisse aus der Wulfen-Studie in Kapitel 3 für ganz Deutschland repräsentativ und auf alle Getreideflächen in Ost- und Westdeutschland übertragbar seien. Aufgrund dieser doch recht spekulativen Annahme

wird die Hochrechnung aus der Statistik im Folgenden als „*Abschätzung*“ des *volkswirtschaftlichen Nettonutzens für gesamt Deutschland* bezeichnet<sup>93</sup>.

Bei Gültigkeit obiger Annahme ergibt sich ein volkswirtschaftlicher Nettonutzen einer Einführung von Precision Farming auf allen Getreideflächen Deutschlands von minimal -0,245 Mrd. € (2006/Karte, Nettonutzen I)<sup>94</sup> und maximal 2,671 Mrd. € (2005/Sensor, Nettonutzen IV). Der Mittelwert über die vier Bewertungsstufen der einzelnen Jahre und Precision-Farming-Strategien fällt dabei immer positiv aus. Wie in Tabelle 18 dargestellt, liegt der durchschnittliche volkswirtschaftliche Nettonutzen<sup>95</sup> bei 0,712 Mrd. €. Bezogen auf die Winterweizenfläche ergibt sich ein volkswirtschaftlicher Nettonutzen von minimal -0,112 Mrd. € (2006/Karte, Nettonutzen I) und maximal 1,219 Mrd. € (2005/Sensor, Nettonutzen IV) mit einem Mittelwert der drei Versuchsjahre 2005–2007 von 0,325 Mrd. € für Gesamtdeutschland.

Eine weitere Abschätzung des volkswirtschaftlichen Nettonutzens der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming erfolgt auf Basis des in Kapitel 4.3 beschriebenen Heterogenitätsindikators HEI und Ableitung eines exemplarischen Schwellenwertes einer volkswirtschaftlichen Rentabilität eines Einsatzes von Precision Farming auf Winterweizen-Anbauflächen. Mit Hilfe der Ertragsschätzung nach MIRSCHEL et al. (2006) auf Basis der Mittelmaßstäbigen Standortkartierung (MMK, SCHMIDT und DIEMANN 1991) und dem CORINE-Programm<sup>96</sup> (CORINE 2004) ist es gelungen, spezifischere Ergebnisse für eine „Hochrechnung“ zu erzielen. Da die Berechnung auf der MMK basiert, ist aber nur eine Abschätzung des volkswirtschaftlichen Nettonutzens für Ostdeutschland möglich. Die Annahmen, dass die Ergebnisse der Wulfen-Studie mit dem exemplarischen Schwellenwert repräsentativ für Ostdeutschland seien, gelten weiterhin<sup>97</sup>.

---

<sup>93</sup> Der Autorin dieser Arbeit ist sehr wohl bewusst, dass diese Annahmen sehr spekulativ und unrealistisch sind. Dies ist aber bewusst in Kauf genommen worden, denn ohne diese Annahme wäre eine Hochrechnung bzw. Abschätzung für Gesamtdeutschland nicht möglich gewesen.

<sup>94</sup> siehe Anhang Tabelle 39. Volkswirtschaftlicher Nettonutzen Deutschland gesamt

<sup>95</sup> über alle drei Jahre, mit den zwei Precision-Farming-Varianten und den vier Bewertungsstufen

<sup>96</sup> genaueres siehe Kapitel 4.1

<sup>97</sup> auf kritische Aspekte dieses Ansatzes wird ausführlich in Kapitel 4.6 eingegangen

Tabelle 18. Hochrechnung/Abschätzung des volkswirtschaftlichen Nettonutzens des PF

432	2005 Schlag		2006 Schlag 411		2007 Schlag 432		Mittelwert**
	Min (Karte*)	Max (Sensor*)	Min (K*)	Max (S*)	Min (K*)	Max (S*)	
Nettonutzen I in €/ha	38,98	89,65	-36,52	56,95	-29,00	29,37	24,91
Nettonutzen IV	177,15	398,56	101,65	365,86	106,23	319,37	244,80
<b>NN* Mittelwert I-IV</b>	<b>85,29</b>	<b>202,11</b>	<b>31,92</b>	<b>169,41</b>	<b>17,25</b>	<b>131,04</b>	<b>106,17</b>
Precision-Farming-Potenzial-Ackerflächen für Ostdeutschland nach CORINE <sup>1</sup> für HEI >= 17 %							
429.139,86 ha							
Nettonutzen für Precision Farming Potenzial-Ackerflächen Ostdeutschland nach CORINE <sup>1</sup> in Mio. € für HEI >= 17 %							
	2005		2006		2007		Mw**
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
Nettonutzen I	16,7	38,5	-15,7	24,4	-12,4	12,6	10,7
Nettonutzen IV	76,0	171,0	43,6	157,0	45,6	137,1	105,1
<b>NN* Mittelwert I-IV</b>	<b>36,6</b>	<b>86,7</b>	<b>13,7</b>	<b>72,7</b>	<b>7,4</b>	<b>56,2</b>	<b>45,6</b>
Volkswirtschaftlicher Nettonutzen für Precision Farming <sup>2</sup> nach Statistik in Mio. €							
Getreidefläche <sup>3</sup>							
Deutschland gesamt NN Mw* I-IV	571,6	1.354,6	213,9	1.135,4	115,6	878,2	711,6
Ostdeutschland NN Mw I-IV	207,9	492,5	77,8	412,9	42,0	319,3	258,7
Westdeutschland NN Mw I-IV	363,7	862,0	136,1	722,6	73,6	558,9	452,8
Winterweizenfläche <sup>4</sup>							
Deutschland gesamt NN Mw I-IV	260,8	618,1	97,6	518,1	52,8	400,8	324,7
Ostdeutschland NN Mw I-IV	102,8	243,6	38,5	204,2	20,8	157,9	128,0
Westdeutschland NN Mw I-IV	158,0	374,5	59,1	313,9	32,0	242,8	196,7

<sup>1</sup> Berechnet über HEI und CORINE-Programm (CORINE 2004), Berechnung 2007<sup>2</sup> Berechnet über STATISTISCHES BUNDESAMT DEUTSCHLAND, Statistisches Jahrbuch für die BRD (2007)<sup>3</sup> Getreidefläche in 1.000 ha, BRD: 6.702,1; West: 4.265,1; Ost: 2437<sup>4</sup> Winterweizen-Fläche in 1.000 ha, BRD: 3.058,3; West: 1.852,9; Ost: 1.205,4

\*NN: Nettonutzen, Mw: Mittelwert, \*\*über drei Jahre und 2 PF-Varianten

So ergeben sich für den exemplarischen Schwellenwert von  $\text{HEI} \geq 17\%$  Precision-Farming-Potenzial-Ackerflächen (nicht bewässert) in Höhe von ca. 430.000 ha (für Ostdeutschland). Allein schon im Vergleich zur ersten Abschätzung aus der Statistik mit der Winterweizen-Anbaufläche (Ostdeutschland) von ca. 1,2 Mio. ha als potenzielle PF-Ackerflächen angenommen, erscheint diese Abschätzung wesentlich spezifischer und realistischer. Daraus ergibt sich nun für  $\text{HEI} \geq 17\%$  ein volkswirtschaftlicher Nettonutzen von minimal -0,016 Mrd. € (2006/Karte, Nettonutzen I)<sup>98</sup> und maximal 0,171 Mrd. € (2005/Sensor, Nettonutzen IV). Wie in Tabelle 18 dargestellt, liegt dabei der Mittelwert mit 0,046 Mrd. € deutlich unter den Schätzwerten aus der Statistik. Ergebnisse zu weiteren Schwellenwerte des HEI finden sich im Anhang in Tabelle 38.

#### **4.6 Stärken und Schwächen des Heterogenitätsindikators HEI und Schlussfolgerungen zur Hochrechnung**

Der vorgeschlagene Heterogenitätsindikator HEI stellt zusammenfassend ein einfaches, günstiges, schnell realisierbares und vor allem praktikables Maß zur Erfassung der schlaginternen Heterogenität dar. Der HEI bildet dabei die Basis zur weiteren Bestimmung der volkswirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit (mikro- bis makroskalig) über einen entsprechenden Schwellenwert des HEI. Einerseits ist die Sicherheit und Genauigkeit der Erfassung der benötigten Daten vor allem von der verfügbaren Landtechnik, der Kompetenz des Personals und des landwirtschaftlichen Unternehmers (des Landwirtes) abhängig.<sup>99</sup> Andererseits aber kann die Heterogenität des Schlages in seiner gesamten Komplexität durch einen Wert allein, nämlich die Ertragsgröße<sup>100</sup> abgebildet werden. So bestätigt auch Literatur nach WERNER et al. (2002), dass Ertragsinformationen ausreichend die Standortinformationen des Bodens und Reliefs mit Berücksichtigung der Dynamik der Pflanzenbestände in der Zeit darstellen. Der Ertrag erfasst als Output-Größe nicht nur das gesamte System „Schlag und Bewirtschaftung“, sondern stellt auch über den Erlös und den Unter-

---

<sup>98</sup> siehe Anhang Tabelle 38 für die Potenzialflächen und Tabelle 38 für den Nettonutzen

<sup>99</sup> Diese Abhängigkeit besteht aber auch bei den wesentlich komplexeren Verfahren der Geostatistik zur Messung der schlaginternen Heterogenität, wenn nicht sogar noch größer. Diese geostatistischen Ansätze versuchen, das System des Schlages über inputorientierte Indikatoren abzubilden. Dadurch erscheint die Erfassung des Systems „Schlag“ zur Heterogenität wesentlich detaillierter in der Komplexität und Vielzahl der zu berücksichtigenden Faktoren (siehe auch Kapitel 4.2).

<sup>100</sup> durchschnittliche relative Ertragsabweichung, Variationskoeffizient

nehmensgewinn die relevante Entscheidungsgröße für den Landwirt dar. Hinzu kommt noch, dass der vorgestellte HEI und dessen Datengrundlage<sup>101</sup> jedes Jahr neu bemessen werden. Somit besitzt der HEI eine hohe Aktualität und Aussagekraft.

### *Übertragbarkeit des HEI*

Unproblematisch gestaltet sich die Übertragbarkeit des HEI auf andere Schläge und Regionen. Der Variationskoeffizient der Erträge eines Schlages ist nach Ertragsmessung und Ertragskartierung auf jedem Schlag, in jeder Region (weltweit) einfach und günstig zu bestimmen. Zur Bestimmung eines Schwellenwertes bzgl. der Rentabilität des Precision Farming<sup>102</sup>, der für bestimmte Regionen bestimmt werden müsste, bedarf es noch weiterer Forschungsaktivitäten.

### *Belastbarkeit der Ertragskartierung*

Die Ertragskartierung repräsentiert meist nur Werte eines Jahres, genauer des vorangegangenen Jahres. WERNER et al. (2002, S. 196) argumentieren, dass die Daten damit kaum belastbare Informationen zu einer langjährigen, mittleren Ertragsprognose der Teilflächen liefern können. Nur, sind denn die langjährigen Ertragsmittel zur Abschätzung einer Heterogenität überhaupt notwendig? Nach Meinung von WAGNER (2006) würden so die Ertragsunterschiede der Teilflächen nur nivelliert, was dann den tatsächlich doch auftretenden Unterschieden in der Fläche für das jeweilige Jahr in keiner Weise entsprechen würde.

Zukünftige Forschungsarbeit müsste der Frage nachgehen, ob langjährige Ertragskartierung, als gleitender Durchschnitt über die Jahre, der einjährigen Ertragskartierung vorzuziehen wäre. Aus Gründen der Datenverfügbarkeit können hier die Aussagen zum Precision Farming aber nur auf zwei Erntejahren (2005 und 2007) gründen.

### *Vergleichbarkeit des HEI*

Nur der Variationskoeffizient ist aus statistischer Sicht zu einem Vergleich geeignet. Andere Maße zur Veranschaulichung von Ertragsunterschieden, wie die Varianz, geben einen absoluten quadratischen Wert an, die Standardabweichung deren Wur-

---

<sup>101</sup> also die Ertragswerte

<sup>102</sup> bzw. der volkswirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit eines Einsatzes von Precision Farming auf einem Schlag

zel. Diese können nicht standardisiert dargestellt werden und sind folglich zu einem Vergleich ungeeignet.

Zu einer Gegenüberstellung verschiedener Variationskoeffizienten (= HEI) ist es aus betriebswirtschaftlicher Sicht dringend erforderlich, die Grenzen zu beachten, innerhalb welcher die Erträge tatsächlich variieren. So sind nur Schläge mit Ertragswerten innerhalb einer Dimension vergleichbar. Damit ist gemeint: Vergleiche innerhalb einer Kulturart/gruppe mit natürlichen und faktischen Grenzen, wie bspw. Getreide, sind durchaus gut über den Variationskoeffizienten möglich. Für den Fall des Precision Farming in der Wulfen-Studie liegt die Spannweite der gemessenen Feuchterträge bei ca. 50 dt/ha bis zu 80 dt/ha. Angaben des HEI (in %) und daraus eventuelle Rückschlüsse auf eine Düngereinsparung bleiben innerhalb dieser Zehner-Dimension.

Betrachtet man nun eine Kulturart, deren Erträge nur von 5 dt/ha bis zu 8 dt/ha variieren (also eine Zehner-Dimension kleiner), so könnten sich sehr ähnliche HEIs ergeben, die aber zu wesentlich geringerer Düngereinsparung führen würden und somit zu geringerer Düngerkosteneinsparung als im obigen Fall (statt bspw. 10 €/ha nur noch 1 €/ha). So wäre aus betriebswirtschaftlicher Sicht ein Vergleich zur Ableitung der Rentabilität und Vorteilhaftigkeit eines Einsatzes des Precision Farming dieser beiden Kulturartengruppen über den HEI nicht vertretbar. Ein Vergleich innerhalb der Kulturarten ist aber völlig zulässig.

#### *Verteilung des HEI in Ost-Deutschland*

Bzgl. der Verteilung des HEI in Ost-Deutschland (siehe Abbildung 13) ist auffällig, dass für  $HEI \geq 17\%$  ein hoher Wert des HEI nördlich von Dresden entlang des Urstromtals der Elbe bis zur ehemaligen Grenze West-Deutschlands und zwischen Dresden und Cottbus entlang des Urstromtals der schwarzen Elster bis zur polnischen Neiße-Grenze aufzufinden ist. Diese hohen HEI-Werte treten in Gebieten auf, die durch Sedimente aus verschiedenen Eiszeiten stark beeinflusst waren. Die südliche Grenze des hohen HEI-Auftretens entspricht fast der sogenannten „Feuersteinlinie“, der südlichsten Ausdehnung des Feuersteins, der als Folge von Eismassenbewegung aus dem Norden transportiert wurde. Urstromtäler und Flüsse, die danach entstanden, führten große Mengen an Sedimenten mit sich und lagerten diese in einer sehr komplexen Art und Weise ab, welche sich bis heute in den Alluvialböden wiederfinden.

### *Schlussfolgerungen*

Die Hochrechnung der schlagspezifischen Ergebnisse des Precision Farming aus der Wulfen-Studie erfolgte zunächst über den Ansatz des neu entworfenen Heterogenitätsindikators HEI, der die Schlagebene mit der Ökonomie verknüpft. Die Übertragung der ökonomisch verknüpften Schlagebene auf Regionalebene erfolgte ebenfalls mit einem neu entworfenen Ansatz, welcher auf dem Ertragsschätzungsmodell nach MIRSCHEL et al. (2006) basiert. In Verbindung mit Verwaltungskarten (INFAS 2001) und Daten aus dem CORINE-Programm (2004) konnten Precision-Farming-Potenzialflächen innerhalb der Verwaltungsgrenzen grafisch dargestellt und für (nicht bewässertes) Ackerland in Ost-Deutschland<sup>103</sup> relativ genau geschätzt werden. Von einer „Berechnung“ kann nicht gesprochen werden, da die Hochrechnung des HEI auf Regionalebene auf zu vielen Annahmen beruht. Zugegeben: Ohne diese teilweise „gewagten“ Annahmen wäre eine Hochrechnung oder besser Schätzung des volkswirtschaftlichen Nettonutzens einer flächenweiten Einführung des Precision Farming in Ost-Deutschland oder in Gesamtdeutschland überhaupt nicht möglich gewesen.

Immerhin basieren die hier vorgestellten Schätzungen für potenzielle Precision-Farming-Flächen auf wissenschaftlich fundierten Erkenntnissen, wie bspw. auf dem Ertragsmodell nach MIRSCHEL et al. (2006) und nicht nur auf Expertenmeinungen. Einschätzungen letzterer implementieren wesentlich mehr Willkür als die hier vorgestellten Ansätze.

Dennoch ist die Schätzung der Precision-Farming-Potenzialflächen auf Basis der Verwaltungskarten (dargestellt in Abbildung 13 und Abbildung 14) für einen HEI  $\geq 17\%$  mit  $11\%$  der Gesamtfläche Ost-Deutschlands doch recht ungenau. Wesentlich genauer fallen die Ergebnisse aus den CORINE-Daten aus. Für einen HEI von  $\geq 17\%$  sind nur noch  $0,35\%$  der Fläche Ost-Deutschlands als Flächen zu identifizieren, auf denen sich der Einsatz von Precision-Farming-Technologien lohnt. Auch im Vergleich zur Hochrechnung über die Statistik scheint die Berechnung über den HEI und CORINE präziser: Für Ost-Deutschland sind  $17,8\%$  der dortigen Getreideflä-

---

<sup>103</sup> Da das Ertragsmodell nach MIRSCHEL et al. (2006) auf der MMK (Mittelmaßstäbige Standortkartierung für Ost-Deutschland, SCHMIDT und DIEMANN 1991) basiert, war eine Hochrechnung nur für Ost-Deutschland möglich.

chen als Precision Farming lohnenswert einzustufen und sogar 35,8 % der Winterweizenfläche<sup>104</sup>.

So konnten die eingangs in Kapitel 4 aufgestellten Fragen und Hypothesen zur Vorteilhaftigkeit des Precision Farming in Abhängigkeit der Heterogenität und zu einem Schwellenwert des HEI nicht vollständig beantwortet werden. Zur Verifizierung dieser Hypothesen besteht durchaus noch Forschungsbedarf. Allerdings kann unter folgenden Annahmen gelten: *Wenn der untersuchte Schlag 432 der Wulfen-Studie repräsentativ für die gesamte Region ist, dann liegt der Schwellenwert des HEI für einen rentablen Einsatz des Precision Farming auf einem Schlag bei mindestens 16,8 % Variationskoeffizient.*

Weitere Vergleiche und Untersuchungen sind jedoch notwendig, um die Eignung des HEI als Variationskoeffizient der Erträge eines Schlages zu bestätigen und eindeutige und generelle Rentabilitätsgrenzen (Schwellenwerte) betriebs- und volkswirtschaftlich für Regionen, Länder oder das gesamte Bundesgebiet festlegen zu können.

Aber die Basis für eine Erfassung der schlaginternen Heterogenität ist über den vorgestellten einfachen HEI-Ansatz gelegt und müsste in weiteren Forschungsvorhaben vertieft und mit anderen Ansätzen verglichen werden.

---

<sup>104</sup> nach Daten aus Anhang Tabelle 37



## 5. Agrarpolitische Empfehlung

Aufgrund der in den vorherigen Kapiteln 3 und 4 gewonnenen Erkenntnisse zu einem Nettonutzen des Precision Farming, soll nun eine agrarpolitische Empfehlung bzgl. der Legitimation einer staatlichen Förderung zu einem flächenweiten Einsatz des Precision Farming in Deutschland ausgesprochen werden. Allerdings ist es dabei unerlässlich, zunächst einige allgemeine Worte zu den agrarpolitischen Rahmenbedingungen in Deutschland und vor allem in der Europäischen Union zu verlieren.

Der deutsche Agrarsektor ist einem dynamischen Wandel unterlegen. Die Entwicklung wurde maßgeblich durch die Umsetzung technischer Fortschritte in den Bereichen Agrartechnik, Züchtung, Einsatz chemisch-synthetischer Produktionsmittel und im Betriebsmanagement bestimmt. Mit der Produktivitätssteigerung ging ein kontinuierlicher Strukturwandel bezüglich der Betriebsgrößen und auch im Hinblick auf die betriebliche Spezialisierung einher. Als weiterer zentraler Einflussfaktor für die Entwicklungen im Agrarsektor ist die *Agrarpolitik* zu nennen. Durch markt- und preispolitische Maßnahmen nahm und nimmt sie Einfluss auf die ökonomischen Rahmenbedingungen für die Agrarproduktion. Hinzu kommen weitere agrarpolitische Instrumente wie z. B. gezielte, betriebs- oder flächenbezogene Fördermaßnahmen, die unter Verfolgung struktur- und umweltpolitischer Zielsetzungen flankierend zur Markt- und Preispolitik zum Einsatz kommen (GAY et al. 2004, S. 5).

### 5.1 Agrarpolitische Rahmenbedingungen

Die politischen Rahmenbedingungen für den deutschen Agrarsektor werden in erster Linie durch die Gemeinsame Agrarpolitik (GAP) der Europäischen Union (EUROPEAN UNION 2011) gesetzt. Die EU-Agrarpolitik wird auf Grundlage gemeinsamer Beschlüsse stetig weiterentwickelt. In vielen Bereichen besteht für die einzelnen Mitgliedstaaten bei der Umsetzung der EU-Verordnungen nur ein geringer Handlungsspielraum, beispielsweise in der Markt- und Preispolitik. In anderen Bereichen, etwa bei den umwelt- und strukturpolitischen Maßnahmen, besteht ein größerer nationaler Ausgestaltungsspielraum. Eine von der EU unabhängige Agrarpolitik kann von Deutschland nicht betrieben werden, aber es besteht die Möglichkeit, auf die Entwicklung der GAP Einfluss zu nehmen und die eröffneten Ausgestaltungsspielräume zu nutzen (GAY et al. 2004, S. 6).

Die Europäische Union hat ihre Gemeinsame Agrarpolitik seit Mitte der 1980er-Jahre immer wieder erheblich reformiert (HEBAUER et al. 2011, S. 10) und die im EWG-Vertrag von 1962 festgelegten Ziele der GAP, nämlich die Steigerung der Produktivität in der Landwirtschaft, die Gewährleistung eines angemessenen Lebensunterhalts für die in der Landwirtschaft tätige Bevölkerung, die Belieferung des Verbrauchers zu angemessenen Preisen sowie Stabilisierung der Agrarmärkte (EUR-LEX 2002), unterschiedlich stark gewichtet bzw. den jeweiligen Anforderungen der Zeit angepasst. So sind bspw. Umweltziele im Laufe der 90er-Jahre zunehmend in die Gemeinsame Agrarpolitik aufgenommen worden (GAY et al. 2004, S. 6). Damit veränderten sich die Rahmenbedingungen für die Landwirtschaft entscheidend. Der Reformpfad führte weg von markt- und preisstützenden Maßnahmen hin zu zunächst produktionsgebundenen Ausgleichszahlungen und später zu weitgehend produktionsunabhängigen, entkoppelten Direktzahlungen (HEBAUER et al. 2011, S. 10).

Mit der Agrarreform von 1992 (sog. MacSharry-Reform) hat die Europäische Union eine grundsätzliche Politikänderung eingeleitet. Die Markt- und Preisstützung wurde deutlich reduziert und Direktzahlungen, die den Rückgang der landwirtschaftlichen Einkommen ausgleichen sollten, eingeführt (AGRARHEUTE 2012). Diese Ausgleichszahlungen waren an die Produktion von Ackerkulturen oder an den Tierbestand gebunden. Mit der Agenda 2000<sup>105</sup> und vor allem den Reformbeschlüssen von 2003<sup>106</sup> ist der eingeschlagene Weg einer stärkeren (Welt-)Marktorientierung weiterverfolgt worden. Die Direktzahlungen sind inzwischen in Deutschland weitgehend entkoppelt und auch die anderen EU-Mitgliedsstaaten sind angehalten, die Direktzahlungen unabhängig von der tatsächlichen Produktion zu gewähren. Voraussetzung für den Erhalt der Direktzahlungen ist die Einhaltung der Cross-Compliance-Auflagen<sup>107</sup>, die Grundanforderungen an die Betriebsführung und Standards für eine ordnungsgemäße

---

<sup>105</sup> Agenda 2000: Die Reform sah eine weitere Stärkung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit durch Preissenkungen sowie die Einführung einer eigenen Politik für den ländlichen Raum vor. Die Weiterentwicklung der Umweltmaßnahmen und die Modulation waren ebenfalls Teil dieser Reform (AGRARHEUTE 2012).

<sup>106</sup> Midterm-Review 2003: Die Entkopplung der Tier- und Flächenprämien von der Produktion sollte die Landwirte freier in ihrer Entscheidung machen, welche Waren sie erzeugen, und so zu einer Marktorientierung führen. Diese Reform stand auch im Zeichen der Erweiterung der EU um zwölf neue Mitglieder (AGRARHEUTE 2012).

<sup>107</sup> Cross-Compliance: Bindung von Direktzahlungen an Umweltkriterien (GAY et al. 2004, S. 9)

Landbewirtschaftung enthalten. Schließlich wird die Modulation<sup>108</sup> auf 10 % angehoben und damit die erste Säule der EU-Agrarpolitik (Preisstützung und Direktzahlungen) zugunsten der zweiten Säule der EU-Agrarpolitik (Förderung der Entwicklung des ländlichen Raumes) reduziert (HEBAUER et al. 2011, S. 8). Durch Cross-Compliance und Modulation steigt die Bedeutung von Umweltschutz, Tierschutz und Verbraucherschutz im Rahmen der EU-Agrarpolitik deutlich an (GAY et al. 2004, S. 9).

Die zuletzt im Rahmen der Agrarreform von 2003 und des Health Checks 2008/09<sup>109</sup> festgelegten Grundlagen der Agrarpolitik sind bis 2013 festgeschrieben (HEBAUER et al. 2011, S. 8).

Jedoch führten die Cross-Compliance-Regelungen zu einer Reihe von Anpassungsprozessen in der Landwirtschaft (BISSELS und OPPERMANN 2011, S. 142), die mit dem politisch gewollten Bedeutungsgewinn des Naturschutzes nicht übereinkommen. Eine Studie nach BISSELS und OPPERMANN (2011), die Politikvorschläge zur Reform der GAP hinsichtlich ihrer voraussichtlichen Umweltwirkungen analysiert und bewertet, zeigt, dass die heutige Landwirtschaft negative Auswirkungen auf die natürlichen Ressourcen hat. Die Reform der GAP 2003 und auch der Health Check konnte die Trends offenbar nicht aufhalten (BISSELS und OPPERMANN 2011, S. 147). So stellen bezüglich Boden- und Wasserschutz Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft nach wie vor eine der Hauptbelastungen der Gewässer in Europa dar. In Deutschland ist die Landwirtschaft mit mehr als 61 % der Gesamtstickstoffimmissionen in Gewässer der größte Verursacher nachgewiesener Stickstoffbelastungen. Obwohl die Landwirtschaft in Deutschland im Bereich Klimaschutz mit nur 13 % an den gesamten Treibhausgasemissionen beteiligt ist, ist sie die Hauptquelle der Emissionen von Methan (Wiederkäuerverdauung) und Lachgas (intensive Ackernutzung). Und während die Landwirtschaft in den vergangenen Jahrhunderten zur Entstehung neuer Lebensräume beigetragen hat, ist die intensive landwirtschaft-

---

<sup>108</sup> Modulation: Kürzung von Mitteln der 1. Säule und Umschichtung in die 2. Säule der GAP (GAY et al. 2004, S. 9)

<sup>109</sup> Health Check 2008/09: Weitere Anpassung der GAP durch Abschaffung der Flächenstilllegung und weitere Entkopplung. Die Milchquote solle zwischen 2009 und 2013 um jährlich 1 % erhöht werden, im April 2015 soll sie komplett abgeschafft werden. Eingriffe in den Agrarmarkt sollen weiter abgebaut werden und die Direktzahlung im Rahmen der Modulation gekürzt (AGRARHEUTE 2012).

liche Nutzung heute ein Hauptfaktor für den Lebensraum- und Artenverlust der Kulturlandschaft. So ging die Individuenzahl der Vogelarten in der Agrarlandschaft in den vergangenen 44 Jahren um 44 % zurück. Besonders betroffen davon ist in Deutschland die Feldlerche (BISSELS und OPPERMAN 2011, S. 146 f.).

Die GAP von heute ist also „nachfrageorientiert“. Sie trägt den Anliegen der Verbraucher nach erschwinglichen Lebensmitteln in vollem Umfang Rechnung und lässt den Landwirten gleichzeitig die Freiheit, das zu erzeugen, was der Markt verlangt. Früher galt das Prinzip: Wer viel produziert, bekommt viel Geld. Durch die Entkopplung der Direktzahlung von der Produktion heute, können die Landwirte in der EU marktorientierter wirtschaften. Sie können erzeugen, was sich am besten verkauft, genießen aber gleichzeitig weitgehend stabile, gesicherte Einkommen (EUROPEAN COMMISSION 2012a). Die gegenwärtige GAP möchte dabei auch die Politik zur Entwicklung des ländlichen Raumes<sup>110</sup> (2. Säule der GAP) verstärken, um die ländlichen Gebiete dabei zu unterstützen, die wirtschaftlichen, sozialen und umweltbezogenen Fragen des 21. Jahrhunderts zu beantworten (EUROPEAN COMMISSION 2012b). Gelingen ist das alles noch nicht: Die heutige landwirtschaftliche Produktion brachte trotz der festgesetzten Umweltziele in der GAP bislang doch noch nicht die geforderten Verbesserungen im Bereich Biodiversität und Klimaschutz<sup>111</sup>.

### *GAP nach 2013*

Vor dem Hintergrund der aktuellen wirtschaftlichen Entwicklungen, der Diskussion um Klima- und Ressourcenschutz und einer fortschreitenden Entleerung ländlicher Räume stellt sich die Frage, wie die Weichen der künftigen Agrarpolitik nach 2013 gestellt werden müssen. Die Vision für eine moderne Agrarpolitik ist, die europäische Landwirtschaft so weiterzuentwickeln und zu lenken, dass sie sowohl moderne Technologien in Pflanzenschutz und Nährstoffmanagement einsetzt, z. B. Precision-Farming-Technologie und dadurch hohe effiziente Ertragsleistungen erzielt, gleichzeitig aber auch eine langfristig nachhaltige Umweltsicherung gewährleistet (BISSELS und OPPERMAN 2011, S. 142).

---

<sup>110</sup> durch die Modulation

<sup>111</sup> siehe BISSELS und OPPERMAN 2011, OPPERMAN et al. 2010

Umweltbelange waren zwar schon auch in früheren Reformdebatten ein wichtiger Bestandteil, allerdings hat dieser Aspekt deutlich an Bedeutung gewonnen. Die stärkere Berücksichtigung von Umweltbelangen einschließlich des Naturschutzes steht auch in direktem Zusammenhang mit den gesellschaftlichen Leistungen und einer nachhaltigen Ernährungssicherung. Dabei geht es stärker denn je um eine nachhaltige Bewirtschaftung der natürlichen Ressourcen und damit auch den Erhalt der Produktionsgrundlagen (HEBAUER et al. 2011, S. 25). Die neuen Herausforderungen der Gemeinsamen Agrarpolitik nach 2013 liegen insbesondere in den Bereichen des Klimawandels, der Biodiversität und des Wassermanagement. Da alle drei Bereiche maßgeblich durch die landwirtschaftliche Flächennutzung beeinflusst werden, sind erhebliche Anpassungsreaktionen durch die Landwirtschaft erforderlich (HEBAUER et al. 2011, S. 25). In den kommenden Jahren muss sich die GAP also noch mehr verändern, um weiterhin eine Politik zu sein, die den Bedürfnissen und Erwartungen der europäischen Gesellschaft gerecht wird. Sie muss vor allen Dingen die gesteckten Umweltziele in die Praxis umsetzen und tatsächlich eine nachhaltige multifunktionale Landwirtschaft fördern, die sichere Qualitätserzeugnisse anbietet (EUROPEAN COMMISSION 2012c).

Im Oktober 2013 hat die Europäische Kommission, der Rat und das Parlament eine politische Einigung über die Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik erzielt. Die Einigung betrifft vier Grundverordnungen des Europäischen Parlaments und des Rates für die Gemeinsame Agrarpolitik: i) eine Verordnung über Direktzahlungen, ii) eine Verordnung über die gemeinsame Marktorganisation, iii) eine Verordnung über die Entwicklung des ländlichen Raumes und iv) eine horizontale Verordnung über die Finanzierung, Verwaltung und das Kontrollsystem der GAP (EUROPEAN COMMISSION 2013, S. 1). Dabei soll die neue Gemeinsame Agrarpolitik in der Periode von 2014 bis 2020 tatsächlich „grüner“ und dennoch marktorientierter und wettbewerbsfähiger ausgestaltet werden und zusätzlich auf Herausforderungen wie den Klimawandel verstärkt reagieren (AGRARHEUTE 2012).

Statt der unterschiedlichen Systeme der Betriebsprämienregelungen in den EU-15 und der einheitlichen Flächenzahlungen in den meisten EU-12 wird nach 2013 eine neue Basisprämienregelung gelten (EUROPEAN UNION 2011). Um eine ausgewogenere Verteilung der Stützung zu erreichen, wird die bisherige GAP-Regelung für Direktzahlungen, bei der die Zuweisungen an die einzelnen Mitgliedstaaten auf historischen Referenzwerten beruhen, aufgegeben. Dies bedeutete eine tatsächlich klare

Konvergenz der Zahlungen, und zwar nicht nur zwischen Mitgliedsstaaten, sondern auch innerhalb dieser. Die Einführung eines „Ökologisierungszuschlages“ (30 % des verfügbaren nationalen Finanzrahmens sind an die Anwendung bestimmter nachhaltiger landwirtschaftlicher Praktiken geknüpft) bedeutet zudem, dass ein erheblicher Anteil der Stützung künftig dazu dient, die Betriebsinhaber für die Bereitstellung ökologischer Güter zu belohnen. Alle Zahlungen sind weiterhin an die Einhaltung bestimmter Umweltauflagen und sonstiger Bestimmungen geknüpft (Cross Compliance). Für die hiervon betroffenen EU-12 wird das Auslaufen der einfacheren, pauschalen Regelung für die einheitliche Flächenzahlung auf 2020 verschoben (EUROPEAN COMMISSION 2013, S. 1).

Ergänzend zur Basisprämienregelung erhält also jeder Betreib pro angemeldeten Hektar eine Zahlung für die Erhaltung bestimmter Klima- und Umweltschutz förderlicher Bewirtschaftungsmethoden (EUROPEAN COMMISSION 2013, S. 2). Dieses sog. „greening“ der Direktzahlungen (der 1. Säule) (EUROPEAN UNION 2011) ist an drei Maßnahmen gebunden<sup>112</sup>, nämlich die Erhaltung von Dauergrünland, Anbaudiversifizierung<sup>113</sup> und Gewährleistung von „im Umweltinteresse genutzten Flächen“ im Umfang von mindestens 5 % der Ackerfläche des Betriebes<sup>114</sup>. Darunter fallen Ackerränder, Hecken, Bäume, Brachflächen, Landschaftselemente, Biotope, Pufferstreifen und Aufforstungsflächen. Dieser Prozentsatz kann ab 2017 von der Kommission auf 7 % heraufgesetzt werden (EUROPEAN COMMISSION 2013, S. 2).

Damit Betriebsinhaber, die sich bereits um Umwelt und Nachhaltigkeit verdient machen, nicht benachteiligt werden, sieht die Einigung eine Regelung der „Ökologisierungsäquivalenz“ vor, nach der die Anwendung bereits bestehender umweltfreundlicher Praktiken diese Grundanforderungen ersetzt. Beispielsweise können in Agrar-

---

<sup>112</sup> Flächen mit ökologischer Erzeugung, einem Produktionssystem mit anerkanntem Umweltnutzen, gelten ohne zusätzliche Auflagen als Flächen, die die Voraussetzungen für die Gewährung des Ökologisierungszuschlages erfüllen (EUROPEAN COMMISSION 2013, S. 2).

<sup>113</sup> Ein Landwirt, dessen Ackerland mehr als 10 ha umfasst, muss mindestens zwei verschiedene landwirtschaftliche Kulturen anbauen bzw. drei verschiedene Kulturen, wenn sein Ackerland mehr als 30 ha umfasst. Die Hauptkultur darf höchstens 75 % des Ackerlandes einnehmen und die beiden Hauptkulturen zusammen höchstens 95 % (EUROPEAN COMMISSION 2013, S. 2).

<sup>114</sup> für Betriebe mit einer Ackerfläche mehr als 15 ha (EUROPEAN COMMISSION 2013, S. 2).

umweltprogrammen Praktiken einbezogen werden, die als äquivalent gelten (EUROPEAN COMMISSION 2013, S. 2).

Für Großbetriebe werden in der neuen GAP die Direktzahlungen gekürzt werden (AGRARHEUTE 2011a). Die Mitgliedsstaaten können die Beträge, die ein einzelner Betrieb erhalten kann, auf 300.000,- € begrenzen (unter Berücksichtigung der Lohnkosten). Bereits ab zugestandenen Direktzahlungen von mehr als 150.000,- € können diese um mindestens 5 % gekürzt werden (EUROPEAN COMMISSION 2013, S. 2).

In der zweiten Säule der GAP sollen Anreize für Forschung und Innovation in der Landwirtschaft ausgebaut werden. Die EU-Mitgliedsstaaten können dafür bis zu 15 % von der 1. Säule in die 2. Säule der GAP umverteilen (EUROPEAN COMMISSION 2013, S. 2). Die Politik zur Entwicklung des ländlichen Raumes hält an ihrem bisherigen bewährten Grundkonzept fest: Die Mitgliedsstaaten/Regionen konzipieren weiterhin ihre Mehrjahresprogramme, angepasst an die Bedürfnisse der ländlichen Gebiete. Die neue Regelung für die 2. Säule sieht einen flexibleren Ansatz vor. Anhand einer gründlichen Analyse entscheiden die Mitgliedsstaaten, welche Maßnahmen sie anwenden wollen, um Ziele in nun sechs großen „Prioritäten“ zu erreichen. Die sechs Prioritäten lauten:

- Förderung von Wissenstransfer und Innovation
- Förderung der Wettbewerbsfähigkeit aller Arten von Landwirtschaft sowie der nachhaltigen Bewirtschaftung der Wälder
- Förderung der Organisation der Lebensmittelversorgungskette und des Risikomanagements
- Wiederherstellung, Erhaltung und Verbesserung der Ökosysteme
- Förderung der Ressourceneffizienz und des Übergangs zu einer Wirtschaft mit geringem CO<sub>2</sub>-Ausstoß
- Förderung der sozialen Eingliederung, der Bekämpfung der Armut und der wirtschaftlichen Entwicklung in den ländlichen Gebieten

Die Mitgliedsstaaten müssen von den für die Entwicklung des ländlichen Raumes verfügbaren EU-Fördermitteln mindestens 30 % für bestimmte Maßnahmen zur Landbewirtschaftung und zur Bekämpfung des Klimawandels und mindestens 5 % für den LEADER-Ansatz<sup>115</sup> verwenden (EUROPEAN COMMISSION 2013, S. 3).

## **5.2 Agrarpolitische Empfehlung bzgl. einer Förderung des Precision Farming**

Die Vision für eine moderne Agrarpolitik ist, die europäische Landwirtschaft so weiterzuentwickeln und zu lenken, dass sie sowohl moderne Technologien z. B. in Pflanzenschutz und Nährstoffmanagement einsetzt, bspw. Precision-Farming-Technologie und dadurch hohe effiziente Ertragsleistungen erzielt, gleichzeitig aber auch eine langfristig nachhaltige Umweltsicherung gewährleistet (BISSELS und OPPERMAN 2011, S. 142)

### *Legitimation*

Bei dieser Diskussion um die Notwendigkeit und Legitimation von staatlichen Zahlungen für die Landwirtschaft dürfen gesellschaftliche Leistungen, die nicht über Marktpreise abgegolten werden, nicht außer Acht gelassen werden. Viele Leistungen der Landwirtschaft, wie z. B. attraktive Agrarlandschaften, haben Eigenschaften von öffentlichen Gütern. Die Gesellschaft hat in der Regel keinen Anreiz, für diese Güter zu zahlen, so werden die Landwirte diese Güter nicht im gewünschten Maße bereitstellen. Es herrscht Marktversagen vor. Wo jedoch die Gefahr besteht, dass ohne finanzielle Anreize die öffentlichen Güter nicht in ausreichendem Maße bereitgestellt werden, bedarf es staatlicher Eingriffe. Die Grenze zwischen dem, was der Landwirt auf eigene Kosten leisten muss und wofür ein finanzieller Ausgleich angezeigt ist, wird durch gesetzliche Rahmenbedingungen und die ordnungsgemäße Landwirtschaft vorgegeben. Wenn die Anforderungen an die Landwirtschaft über die gesetzlichen Standards hinausgehen, sind ökonomische Anreize als Ausgleich für zusätzliche Kosten oder entgangenes Einkommen durchaus gerechtfertigt (HEBAUER et al. 2011, S. 12 ff.).

---

<sup>115</sup> Frz. Liaison entre actions de developpement de l'économie rurale, dt. Verbindung zwischen Aktionen zur Entwicklung der ländlichen Wirtschaft. LEADER ist ein Förderprogramm der EU, mit dem seit 1991 modellhaft innovative Aktionen im ländlichen Raum gefördert werden (WIKIPEDIA 2013).



Die eingangs gestellte Frage nach einer Legitimation agrarpolitischer Maßnahmen zur Förderung eines flächenweiten Einsatzes von Precision Farming kann nun aufgrund der Ergebnisse der Nutzen-Kosten-Analyse positiv beantwortet werden. Der Vielzahl von Umweltwirkungen, die als indirekte Wirkungen beim Einsatz der Precision-Farming-Technologie im Pflanzenbau anfallen und bislang über den Markt nicht entlohnt werden, stehen unsichere betriebswirtschaftliche Gewinne gegenüber (siehe Nettonutzen direkt, Tabelle 8 und Nettonutzen indirekt, Tabelle 11 und Tabelle 12, Kapitel 3.4.2). Eindeutige betriebswirtschaftliche Gewinne waren innerhalb der 3-jährigen Wulfen-Studie nicht nachzuweisen.

So erscheint also die Rechtfertigung einer staatlichen Förderung der Precision-Farming-Technologie über die ökologischen Wirkungen als gegeben. Andererseits gilt es aber folgende Argumentation zu überdenken und zwar, ob die ökologischen Effekte nicht auch auf andere Weise und ggf. kostengünstiger zu erzielen wären. Es gäbe zahlreiche Gründe dafür, die großen und übergroßen Schläge im Osten durch Strukturelemente, Raine, Hecken usw. zu verkleinern. Damit reduzierte sich ihre Heterogenität möglicherweise auf einen Restbetrag, der kein Precision Farming mehr rechtfertigte. Landwirte im Westen könnten klagen, dass mit PF im Grunde ein Missstand subventioniert werde (zu große Schläge). Ökonomisch konsequent wäre es dann, die ökologischen Vorteile direkt zu honorieren, also nicht direkt Precision Farming fördern, sondern z. B. erfolgreiche Lerchenbruten.

Auch wenn diese Einwände, dass die positiven Umwelteffekte billiger herzustellen seien als durch Precision Farming, erst einmal nicht von der Hand zu weisen sind, stellt sich doch gleich die Frage, warum der Naturschutz nicht schon viel breiter Einzug in die Landwirtschaft, vor allem in den großen Agrarunternehmen, gefunden hat. Es wird wohl sicherlich auch so sein, dass die Landwirte/Agrarunternehmen erst einmal zu diesem Naturschutzinteresse gebracht werden müssen, bevor sie sich entschließen, an Agrarumweltprogrammen oder Ähnlichem teilzunehmen und bspw. die Schläge verkleinern. Auch dann wäre der höhere Verwaltungs- und Kontrollaufwand zu berücksichtigen.

Precision Farming, auch wenn eine Förderung zunächst teurer erscheint, könnte sozusagen „zwei Fliegen mit einer Klappe“ schlagen. Der technische Fortschritt hält Einzug (er ist in großen landwirtschaftlichen Unternehmen nicht mehr wegzudenken) und als positiver Nebeneffekt wird auch der Naturschutz, bspw. durch die differen-

zierte Maßnahmendurchführung oft zunächst ökonomisch begründet, mitgenommen. Dazu bedarf es keinerlei zusätzlichen Aufwands. Durch die „Hintertür“ wird der Landwirt oder das große Agrarunternehmen auf den Naturschutz gestoßen. Die Betriebsführung begreift die Zusammenhänge zwischen Erhalt der Natur/Kulturlandschaft und erfolgreichem Wirtschaften und steht dann dem Naturschutz offener gegenüber. Precision Farming bietet also die Möglichkeit, die Landbebauer für ihren Boden, die dort wachsenden (oder im Moment noch nicht wachsenden) Pflanzen etc. zu sensibilisieren. Das kommt auch ganz deutlich in der vorliegenden Arbeit zum Ausdruck und wird unter den Intangibles (Kapitel 3.4.6) dargestellt.

#### *Vorschlag zur Förderung*

Für einen Vorschlag zur staatlichen Förderung der Precision-Farming-Technologie zu einer flächenweiten Ausbreitung in Deutschland stellt sich nicht so sehr die Frage nach der konkreten Höhe einer Förderung, sondern vielmehr nach Legitimation geeigneter Instrumente.

So können agrarpolitische Vorgaben, wie eine Förderung des Precision Farming mit den unterschiedlichsten Einzelmaßnahmen und Maßnahmenkombinationen erreicht werden. Der Instrumenteneinsatz in der deutschen Agrarumweltpolitik konzentriert sich vor allem auf das Ordnungsrecht sowie freiwillige Agrarumweltmaßnahmen. Flankierend kommen Beratung und Investitionsförderung hinzu (GAY et al. 2004, S. 97). Für den Fall einer Förderung der flächenweiten Einführung von Precision Farming gäbe es einmal die Möglichkeit einer Förderung durch eine allgemeine Agrarstützung innerhalb der 1. Säule der GAP über Direktzahlungen/ha oder aber durch Investitionsförderung der Anschaffungskosten des Precision Farming.

Eine *allgemeine Agrarstützung* könnte im Rahmen von Agrarumweltprogrammen erfolgen. In diesen verpflichten sich Landwirte, für einen bestimmten Zeitraum eine durch bestimmte Auflagen definierte extensive landwirtschaftliche Produktionsweise oder Flächenpflege durchzuführen und erhalten eine Prämie. Die extensive landwirtschaftliche Produktionsweise könnte hier durch Precision-Farming-Technologien erfolgen. Da sich eine Prämie an den privatwirtschaftlichen Kosten, die aufgrund der Auflageneinhaltung zu erwarten wären, orientiert, wäre eine Prämie zur Förderung der Einführung von Precision Farming zwischen mind. 4 €/ha und 63 €/ha anzusiedeln. Diese Werte ergeben sich aus dem negativen direkten Nettonutzen (also Kosten) bei der Bewertung der direkten Wirkung des Precision Farming in Tabelle 8

(siehe Kapitel 3.4.2), immer unter der Voraussetzung, dass die Ergebnisse der Wulfen-Studie auf ganz Deutschland übertragbar seien. Über die drei Versuchsjahre konnte aber nicht eindeutig festgestellt werden, ob sich der Einsatz von Precision Farming auf rein betriebswirtschaftlicher Ebene lohnt oder mit Einbußen zu rechnen ist. Drei von sechs Versuchsgliedern/Ergebnissen sind positiv und drei negativ ausgefallen. So kann bzgl. des Förderinstrumentes der Direktzahlungen keine Empfehlung ausgesprochen werden, zumal weitere Versuchsreihen in unterschiedlichen Regionen notwendig wären, um eine angemessene Prämienhöhe genauer und gerechtfertigt formulieren zu können.

Unter Berücksichtigung der Ökologisierung der landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsstandards durch die neue „grüne“ Ausrichtung der GAP der Europäischen Union nach 2013 erscheint eine staatliche Förderung des Precision Farming innerhalb der 1. Säule als unwahrscheinlich.

Bleibt noch die *Investitionsförderung*: Diese trägt in zunehmendem Maße den Anforderungen des Umwelt-(und Tier)schutzes Rechnung und kann damit zur Verbreitung verbesserter Technologien (GAY et al. 2004, S. 109) oder innovativer Produktionsverfahren beitragen. Gezielte Investitionszuschüsse zur Anschaffung der Precision-Farming-Technologie (auch Hard- und Software, nicht nur Geräte und Maschinen, könnten also zu einer deutlichen Beschleunigung der Verbreitung der technischen Innovation (Precision Farming) führen. Dies wird von JÜRGENS und REICHARDT (2006, S. 3) insoweit bestätigt, dass bei Umfragen potenzielle Nutzer eine Senkung der Anschaffungskosten als Hauptvoraussetzung für einen Einstieg ins Precision Farming nannten. Je nach verfolgter Precision-Farming-Strategie fallen Anschaffungskosten in Höhe von ca. 22.350 € für die Strategie „Sensor“ an und für die Strategie „Karte“ ca. 14.800 € (Ertragskartierung, GIS-Software, Terminal + GPS).<sup>116</sup>

Ein förderfähiges Mindestinvestitionsvolumen von 20.000 €/Landwirt, wie bspw. in der nationalen Rahmenregelung der Bundesrepublik Deutschland für die Entwicklung ländlicher Räume (ELER) nach Artikel 15 Absatz 3 der Verordnung (EG) Nr. 1698/2005 für die Modernisierung landwirtschaftlicher Betriebe<sup>117</sup> (BMELV 2011,

---

<sup>116</sup> siehe Kapitel 3.3.2

<sup>117</sup> (gem. Art 20b) i) in Verbindung mit Art. 26. Absatz 1 Buchstabe a) [Code 121] (GAK: Agrarinvestitionsförderungsprogramm AFP). Als förderfähig werden hier Maschinen und Anlagen der In-

S. 20), würde sicherlich eher zu einer Beschleunigung der Verbreitung des Precision Farming mit allen seinen volkswirtschaftlichen Vorteilen führen als eine Direktzahlung/ha. So erscheint ein Investitionszuschuss zu einer Verbreitung der Technik des Precision Farming zielführend.<sup>118</sup>

Kritik bzgl. des Investitionszuschusses ist sicherlich auch berechtigt, insoweit dieser in der deutschen Landwirtschaft auf Jahrzehnte der Mittelfehl lenkung, der Ungerechtigkeit zwischen Betrieben und anderen Begleiterscheinungen zurückblickt. Wäre es dann aber auf der anderen Seite gerechtfertigt, den willigen potenziellen PF-Nutzern, ca. 8–10 % der Landwirte<sup>119</sup>, unehrenhafte Ziele zu unterstellen und ihnen die Chance zu nehmen, ihren Betrieb zu modernisieren und neue Perspektiven, auch für den Naturschutz, aufzubauen? Auch wird mit der Precision-Farming-Technik keine teure Technik angeschafft, die dann nur „rumsteht“. Mini-Computer, GPS, Telekommunikationstechnik – mit diesen Dingen sind die Menschen, auch die Landwirte, mehr und mehr vertraut. Sie gehören einfach zu unserem Leben dazu und laufen somit, nach Meinung der Autorin, wenig Gefahr, billig angeschafft zu werden und dann nur „herumzustehen“.

„Public money for public goods“. Diese Erkenntnis hat sich in weiten Teilen der Rechtsvorschlge der GAP nach 2013 durchgesetzt. Nur durch eine zielgerichtete Agrarpolitik mit einem effizienten Mitteleinsatz kann den aktuellen und künftigen Herausforderungen bzgl. Klima und Umweltschutz in der Landwirtschaft begegnet werden. Dafür ist eine Konzentration der öffentlichen Zahlungen auf definierte (messbare) gesellschaftliche Leistungen erforderlich (HEBAUER et al. 2011, S. 24). Die Precision-Farming-Technologie kann diesen Herausforderungen Gegenstand leisten, sie ist sozusagen die moderne technologische Antwort auf die gestellten Fragen und Aufgaben in Klima und Umweltschutz. Dabei reichen ihre Wirkungen noch weit über die in der neuen „grünen“ GAP festgesetzten.<sup>120</sup> In diesem Zusammenhang erscheinen gezielte Investitionszuschüsse zur Förderung des Precision Farming im

---

nenwirtschaft anerkannt. Für die Förderung des Precision Farming müsste das auf Maschinen und Geräte der Außenwirtschaft ausgeweitet werden.

<sup>118</sup> Dies empfiehlt auch RÖSCH et al. (2005)

<sup>119</sup> Wie repräsentative Umfragen auf der Agrartechnika 2005 und 2007 zeigten (REICHARDT und JÜRGENS 2008)

<sup>120</sup> Es stellt sich zudem die Frage, inwieweit die in der neuen GAP festgesetzten Umwelt-Standards auch tatsächlich die gewünschten positiven Umwelt- und Klimawirkungen erzielen.

Rahmen eines Agrarförderungsprogrammes für die Gemeinsame Agrarpolitik nach 2013 als sinnvoll und aussichtsreich.

Damit wird nun das umweltpolitische Instrument des Investitionszuschusses für umweltfreundliche/innovative Technik und Produktionsverfahren als geeignete Förderungsmaßnahme zu einer Verbreitung der Precision-Farming-Technologie befürwortet, nachdem eine Legitimation hauptsächlich über die positiven Umweltwirkungen erreicht wird.

Generell kann aber eine staatliche Förderung des Precision Farming nicht empfohlen werden, da einige Aussagen und Ergebnisse der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming auf vielen gewagten Annahmen beruhen (bspw. Ergebnisse der Wulfen-Studie sind repräsentativ für alle Regionen Deutschlands), die in weiterer Forschungsarbeit überprüft werden müssten.

### **5.3 Schlussfolgerungen**

Die Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming konnte erfolgreich unter besonderer Beachtung der ökologischen Wirkungen des Precision Farming erstellt werden. Basis sind hierbei empirische Untersuchungen innerhalb der Wulfen-Studie (fünf Versuchsfelder in drei Jahren Laufzeit).

So sind quantitative Aussagen getroffen worden bzgl. des Nettonutzens von Precision Farming. Der durchschnittlich positive Wert des Nettonutzens/ha in der Wulfen-Studie beruht dabei auf der Vielzahl der indirekten Umweltwirkungen, die durch Precision Farming hervorgerufen werden. Diese basieren vorwiegend auf Umweltwirkungen im Bereich Naturschutz wie bspw. Biodiversität, Habitat, Biotopvernetzung und Kulturlandschaft. Nachgewiesen werden konnten auch positive Wirkungen bei der Minimierung chemischer Verunreinigung auf Nutzflächen und benachbarten Lebensräumen (siehe Fragestellung 1, Box 1).

Eindeutige betriebswirtschaftliche Gewinne waren innerhalb der dreijährigen Wulfen-Studie nicht nachzuweisen (siehe Fragestellung 2, Box 1). Beim Einsatz von Precision Farming im Landbau erwirtschaftet man also gleichzeitig, meist als unbeabsichtigte Nebenfolge (externer Effekt), ein ganzes Bündel an positiven Umweltwirkungen. Nicht unumstritten bleibt dabei deren Quantifizierung. Die Expertenbewertung in Verbindung mit jeweils verschiedenen Bewertungsmethoden aus der Umweltökonomie, die erst über einen benefit transfer mit entsprechender Gewichtung

(aus der Expertenbewertung) zu einem monetären Wert führte, kann keine absolute Bewertung liefern.

Deshalb dürfen die Ergebnisse der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming nicht als generell gültige Aussage missverstanden werden. Vielmehr sollen nur Bereiche und Trends aufgezeigt werden, in welche Richtung Auswirkungen beim Einsatz von Precision Farming am Beispiel der Wulfen-Studie, später übertragen auf (Gesamt)-Ostdeutschland, gehen können.

Die vorliegende Arbeit zur volkswirtschaftlichen Analyse des Precision Farming und seiner flächenweiten Einführung in Deutschland konnte keine wirklich sicheren quantitativen Aussagen zu den ökologischen Vorteilen des Precision Farming aufzeigen. Allerdings hat sie doch sicherlich dazu beigetragen, die positiven ökologischen Wirkungen des Precision Farming nicht völlig außer Acht zu lassen.

Bzgl. der Abhängigkeit eines Einsatzes des Precision Farming von der Heterogenität konnte nicht nachgewiesen werden (anhand des dort entwickelten einfachen, schlag-spezifischen und leicht übertragbaren Heterogenitätsindikators HEI), dass je mehr Heterogenität im Schlag vorherrscht, desto größere Gewinne (Nettonutzen) erzielt werden (siehe Fragestellung 3, Box 1). Die Hauptursache dafür ist die mangelnde Verfügbarkeit von Daten, die zu einer vergleichenden Berechnung und Betrachtung hätten herangezogen werden müssen. Dessen ungeachtet konnten aber doch unter gewissen Annahmen Precision-Farming-Potenzialflächen über den regionalisierten HEI-Ansatz für Ostdeutschland visualisiert und berechnet werden.

Die flächenweite Einführung des Precision Farming in Deutschland würde nach Abschätzungen in der vorliegenden Arbeit Vorteile bringen – ökonomische **und** ökologische: Der durchschnittliche volkswirtschaftliche Nettonutzen, abgeschätzt auf allen Getreideflächen Deutschlands, liegt bei ca. 0,712 Mrd. €. Der durchschnittliche volkswirtschaftliche Nettonutzen, berechnet über den HEI und das CORINE-Programm, liegt nur für Ostdeutschland immerhin noch bei 46 Mio. €. Wie bereits in den vorherigen Kapiteln erwähnt und ausführlich diskutiert, beruhen diese „Berechnungen“ auf recht vielen Annahmen und Unsicherheiten. Allerdings wurde bei dieser Abschätzung immer vom relativ sichersten und kleinsten Wert ausgegangen, so dass von einer Überschätzung des volkswirtschaftlichen Nettonutzens des Precision Farming in Ostdeutschland sicher nicht ausgegangen werden kann.

Der errechnete bzw. geschätzte volkswirtschaftliche Nutzen von Precision Farming bei einer Einführung auf den Getreideflächen in Deutschland lässt diese Technologie förderungswürdig erscheinen und legitimiert sich aufgrund seiner Vielzahl von positiven ökologischen Wirkungen (Fragestellung 4, Box 1). So kann unter den getroffenen Annahmen eine Förderung des Precision Farming zu dessen Verbreitung bspw. über Investitionszuschüsse durchaus zielführend erscheinen.

Die Technologie des Precision Farming ist auf dem besten Wege, die Anforderungen der Zeit an die Landwirtschaft sind gegeben, der volkswirtschaftliche Nutzen so gut wie erwiesen. Nun ist es an der Politik, die Diffusion der Technologie des Precision Farming dahingehend zu unterstützen, dass nicht nur die finanzkräftigen Agrarunternehmen davon profitieren, sondern auch die bäuerlichen Familienbetriebe, ohne die ein wirklich nachhaltiger Ressourcen- und Klimaschutz in der Landwirtschaft nicht möglich ist.

Idealerweise müssten obige Aussagen über den volkswirtschaftlichen Vorteil des Precision Farming in weiteren Forschungsvorhaben überprüft werden, um dann im nächsten Schritt der Politik eindeutige Empfehlungen vorlegen zu können. Bspw. müsste die Wulfen-Studie bspw. in mehreren Regionen Deutschlands durchgeführt werden. Erst dann könnte man tatsächlich signifikante Aussagen bzgl. Precision Farming und seiner volkswirtschaftlichen Bedeutung treffen.

In zukünftigen Precision-Farming-Nutzen-Kosten-Analysen müsste versucht werden, bspw. auch die Transaktionskosten, die hier unter die Intangibles gefallen sind, zu quantifizieren. Denn Untersuchungen zur Akzeptanz von Precision Farming von JÜRGENS UND REICHARDT (2005, S. 68) zeigten, dass viele Nutzer den Zeitaufwand problematisch fanden, den es bedarf, um sich mit der Technik vertraut zu machen.

## 6. Diskussion: Wo steht PF heute und wohin „geht die Reise“?

Landwirtschaftliche Produktionssysteme haben ihre Einführung hauptsächlich der technischen Entwicklung in anderen Industriezweigen zu verdanken. Das Industriezeitalter hat die Mechanisierung und synthetische Düngemittel für die Landwirtschaft gebracht, das Technologiezeitalter brachte Gentechnik und Automatisierung. Das Informationszeitalter beschert uns nun die Möglichkeit, der Integration des technologischen Fortschrittes in die landwirtschaftlichen Produktionssysteme, bspw. in Form des Precision Farming. Die eigentliche Grundlage des Precision Farming, die räumliche und zeitliche Heterogenität von Standort und Ernteparametern innerhalb eines Schläges, wird in der Landwirtschaft schon seit Jahrhunderten hoch geschätzt. Vor der Einführung der Mechanisierung in der Landwirtschaft konnten die Landwirte aufgrund der generell geringen Schlaggröße sehr genau auf Unterschiede innerhalb ihrer Felder reagieren. Die Intensivierung der Landwirtschaft und damit auch die Vergrößerung der Schläge haben diesen Vorsprung zunichte gemacht. Es wurde immer schwieriger, auf die schlaginterne Heterogenität einzugehen ohne eine „technische Revolution“ sozusagen „herbeizusehnen“ (ZHANG et al. 2002, S. 113 f.).

Precision Farming stellt einen System-Ansatz dar, der das derzeit weit verbreitete homogene landwirtschaftliche System reorganisiert zu einem System mit „low-input“ und höchster Effizienz bei Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten. Diese neue landwirtschaftliche Technologie profitiert hauptsächlich vom Aufkommen und Zusammentreffen neuer Technologien, wie bspw. dem satellitengestützten Navigationsverfahren GPS (Global Positioning System), dem geographischen Informationssystem (GIS), mobilen Mini-Computern, automatischer Kontrolle, Sensortechnik und Fernerkundung, erweiterter Informationsverarbeitung und Telekommunikationstechnik. Die landwirtschaftliche Produktion hat somit die Möglichkeit, sehr umfangreiche und flächendeckende Daten über räumliche und zeitliche Veränderungen in der landwirtschaftlichen Erzeugung zu sammeln. Das Verlangen, auf solche Veränderung (Heterogenitäten) trotz großer Schläge auf kleiner Skala antworten zu können, ist nicht nur das Ziel des Precision Farming (ZHANG et al. 2002, S. 114), sondern auch vieler praktizierender Landwirte.

Mehr globaler Wettbewerb, Precision Farming und Bildung von Nahrungsmittelversorgungsketten sind nach BOEHLJE (1999) in SUNDERMEIER 2010 (S. 198) die Hauptmerkmale der Landwirtschaft im 21. Jahrhundert. Die Primärproduktion wan-



delt sich zum „Biological Manufacturing“ mit industrialisierten Herstellungs-, Versorgungs-, und Steuerungstechniken zum Precision Farming mit informationsintensiver Echtzeitüberwachung.

#### *Anwendungsfelder des Precision Farming*

Doch wie weit hat die neue Technologie des Precision Farming tatsächlich in der praktischen Landbewirtschaftung in Deutschland Einzug gefunden? Anwendungsfelder für Precision Farming finden sich in allen wesentlichen Arbeitsschritten des ackerbaulichen Produktionsprozesses. In der landwirtschaftlichen Praxis erfolgreich eingesetzt ist die teilflächenspezifische Stickstoffdüngung, wobei Onlineansätzen<sup>121</sup> unter Verwendung von optoelektrischen Sensoren (vor allem Yara-N-Sensor) bzw. dem CROP-Meter (Pendelsensor) die größte Bedeutung zukommt. Daneben ist im Bereich des Pflanzenschutzes die differenzierte Herbizidapplikation zu nennen. In Kulturen mit weiten Reihenabständen können optoelektrische Sensoren zur differenzierten Unkrautbekämpfung zwischen den Reihen eingesetzt werden (RÖSCH et al. 2007, S. 85 f.). Seit über zwei Jahren wird in einem Forschungsprojekt der Bundesanstalt für Ernährung und Landwirtschaft ein echtzeitfähiges Sensorsystem mit voll-automatischer Unkrauterkenennung und Spritzensteuerung für ackerbauliche Pflanzenabstände entwickelt. Die „sehende“ Feldspritze soll 2013 in der Praxis eingeführt werden (MÖBIUS 2011).

Im Bereich der satellitengestützten Spurführung sind Angebote für visuelle Lenkhilfen sowie Autopilotensysteme auf dem Markt. Sie erfreuen sich zunehmender Akzeptanz und Nachfrage bei den Landwirten, da man mit deren Hilfe Überlappung bei der Bodenbearbeitung vermeiden kann (und somit Kosten) und zusätzlich der Fahrer entlastet wird. Der Trend geht wegen sinkender Kosten in Richtung Real Time Kinematic (RTK)<sup>122</sup> (MÖBIUS 2011).

---

<sup>121</sup> siehe auch Kapitel 3.2. Dort werden das Online- und das Offline-Verfahren näher erläutert. Mittlerweile erforscht die Agro-SAT Consulting Baasdorf, eine der führenden Firmen des Precision Farming, eine Kombination von Offline- und Online-Verfahren, was eine weitere Optimierung der Betriebsmittelanpassung in der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion bringen soll (KÖSTLI und FEHLMANN 2011).

<sup>122</sup> Echtzeitkinematik (engl. Real Time Kinematic, RTK) bezeichnet ein Verfahren zur präzisen Bestimmung von Positionskoordinaten mit Methoden der Satellitennavigation. Es arbeitet mit simultanen Messungen zu GPS- oder anderen GNSS-Satelliten eines Globalen Navigationssatellitensystems, teilweise auch mit Zweifrequenz-Empfängern (WIKIPEDIA 2012a)

Es zeigt sich aber in der Praxis, dass von den verschiedenen Precision-Farming-Verfahren die erfassenden Methoden, nämlich die GPS-Ertragskartierung, gefolgt von der GPS-Bodenbeprobung am weitesten verbreitet sind (REICHARDT und JÜRGENS 2008, S. 587). Die Ertragskartierung während der Ernte stellt ein Verfahren zur Gewinnung teilflächenspezifischer Informationsgrundlagen dar, welches voraussichtlich zukünftig durch die Onlineerfassung der Qualität des Ernteguts mittels Nahinfrarot-Spektroskopie<sup>123</sup> ergänzt wird (AUSSCHUSS FÜR BFTA 2006, S. 7).

Einige weitere Anwendungen wurden ebenfalls bis zur Praxisreife entwickelt, ohne dass sich bislang ein breiterer Einsatz in der Praxis abzeichnet. Hierzu gehören die teilflächenspezifische Grunddüngung mit Phosphat, Kalium und Kalk, die teilflächenspezifische Anpassung der Bodenbearbeitungstiefe und die teilflächenspezifische Anpassung der Saatstärke. Nicht unerwähnt sollte bei dieser Aufstellung die Anwendung von Precision-Farming-Technologien für den ökologischen Landbau bleiben. Hier sind vor allem Techniken zur mechanischen und thermischen Unkrautregulierung und vor allem die teilflächenspezifische Ausbringung organischer Dünger von Interesse, an deren Entwicklung gearbeitet wird (AUSSCHUSS FÜR BFTA 2006, S. 8). Bei gestiegenen Kunstdüngerpreisen möchten in Zukunft auch konventionell wirtschaftende Landwirte organischen Dünger effizienter einsetzen. In einer präziseren Ausbringung von Gülle und Mist, bei der man online die Nährstoffgehalte messen kann, steckt zudem ein großes Potenzial hinsichtlich Ressourcenschutz, auch bzgl. der Ökologisierung der Gemeinsamen Agrarpolitik der EU nach 2013 (AGRAR-HEUTE 2011b).

Nach MÖBIUS (2011) befindet sich die Landtechnik derzeit ohnehin in einer Phase enormer Entwicklungsschübe bei Sensortechnologie, Maschinensteuerung und Datenmanagement. Das führt dazu, dass die technischen Helfer in der Außenwirtschaft immer exakter, effizienter und sensibler auf die wechselnden Bedingungen im modernen Ackerbau reagieren können. Dazu gehört auch die neu entwickelte radarbasierte Fernerkundung, mit der erstmalig eine aussagekräftige Beobachtung, Analyse und Visualisierung der Biomasse auf einem Schlag teilflächenspezifisch und über das gesamte Erntejahr möglich wird. Unabhängig von Wetterverhältnissen oder Ta-

---

<sup>123</sup> ein schnelles berührungsloses Verfahren zur Analyse u. a. von qualitätsbestimmenden Inhaltsstoffen (z. B. Gehalt an Protein, Öl, Stärke) (Ausschuss FÜR BFTA 2006, S. 7).

geszeit kann der Landwirt jederzeit die Entwicklung seiner Pflanzenbestände verfolgen<sup>124</sup>(LANDTECHNIKMAGAZIN 2012).

Auch im Bereich der Verbesserung der Kompatibilität von verschiedenen Geräten der Precision-Farming-Technologie (auch zwischen verschiedenen Herstellern) „tut sich etwas“.

Weltweit haben sich die Landtechnik-Hersteller auf ISOBUS<sup>125</sup> als Sprache und Übertragungstechnik für die Kommunikation zwischen Geräten und Traktoren sowie PCs geeinigt. Dieser ISOBUS-Standard muss aber, wenn er ein wirklicher Standard sein soll, ständig den neuesten Entwicklungen angepasst werden. Mit der Ende 2008 gegründeten Agricultural Industry Foundation (AEF) gibt es nun eine internationale Branchenorganisation, die das leisten kann. Die Initiative ist eine unabhängige, internationale Organisation, die die erforderlichen Ressourcen sowie das entsprechende „Know-how“ bereitstellt, damit wichtige technische Aufgaben im Bereich der Elektronik in der Landtechnik und Landwirtschaft von der Industrie gemeinsam angegangen werden können. Hauptanliegen der Arbeit der AEF ist die Erstellung eines zukunftsgerichteten Prüf- und Zertifizierungsverfahrens, um die Kompatibilität von ISOBUS-Komponenten sicherzustellen. So hat die AEF auf der Agritechnika 2011 ein neues ISOBUS-Logo vorgestellt, das die implementierten Funktionen besser beschreibt (MÖBIUS 2011).

#### *Ausbreitung des Precision Farming*

Die allgemeine Ausbreitung des Precision Farming weltweit erweist sich nach SRINIVASAN (2006, S. 15) als sehr langsam und sehr begrenzt im Vergleich zu anderen Innovationen in der Landwirtschaft, die in derselben Zeit eingeführt wurden, wie bspw. Glyphosat-resistente Sojabohnen oder BT-Mais<sup>126</sup>. Auch in Deutschland erfolgte die Verbreitung von PF-Anwendungen seit den 1990er-Jahren eher zögerlich (RÖSCH et al. 2007, S. 120). 8 % der landwirtschaftlichen Betriebe in Deutschland nutzen bereits Precision-Farming-Technologien (WERNER 2008). Eine der wenigen

---

<sup>124</sup> Grundlage für die teilflächenspezifische Beobachtung sind Satellitenbilder der europäischen Raumfahrtbehörde ESA. Diese Radaraufnahmen sind mit einer Auflösung von 20 m x 20 m deutlich aussagekräftiger als rein optische Aufnahmen (LANDTECHNIKMAGAZIN 2012).

<sup>125</sup> siehe auch Kapitel 1

<sup>126</sup> Transgener Mais. Die Veränderung besteht dahingehend, dass die Bekämpfung von Schadinsekten verbessert wird (WIKIPEDIA 2012b).

Untersuchungen<sup>127</sup> auf diesem Gebiet bestätigt, dass Precision Farming von einer kleinen Gruppe von Landwirten eingesetzt wird, die durch ihre große Betriebsfläche, den überdurchschnittlichen Ausbildungsstand sowie durch ihre Bereitschaft sich mit der Technologie auseinanderzusetzen, gekennzeichnet ist. Der Großteil der Landwirte steht dieser Technik eher kritisch gegenüber und zögert mit einer Einführung auf ihrem Betrieb (REICHARDT und JÜRGENS 2008, S. 603). Die repräsentativen Befragungen ergaben, dass die durchschnittliche Betriebsgröße (Median) der PF-Nutzer von 380 ha bis 250 ha schwankt (2005–2007). Im Vergleich dazu lag die durchschnittliche Betriebsgröße für Gesamtdeutschland 2005 bei 43,1 ha<sup>128</sup>. Der Großteil der dort befragten PF-Nutzer bewirtschaftet Betriebe in Ostdeutschland mit größeren Schlaggrößen (REICHARDT und JÜRGENS 2008, S. 583). Dabei ist noch interessant, dass die Altersklasse der PF-Nutzer zwischen 35 und 50 Jahren liegt und nicht, wie man vermuten würde, bei den ganz jungen Landwirten (REICHARDT und JÜRGENS 2008, S. 584).

### *Verbreitungshemmnisse*

Die Gründe für die geringe Verbreitung des Precision Farming sind vielfältig und liegen auf der Hand. Einer der Hauptgründe sind die unsicheren betrieblichen Gewinne. Die Einsparung von Betriebsmitteln einerseits und Mehrerträge der landwirtschaftlichen Produktion durch PF-Technologien andererseits können nicht immer die hohen Investitionskosten für die Precision-Farming-Technologie decken. Dies bestätigt die Literatur (bspw. bei ZHANG et al. 2002, S. 117; AUSSCHUSS FÜR BFTA 2006, S. 9 f.; RÖSCH et al. 2007, S. 89 ff.) wie auch die Ergebnisse der direkten Bewertung der vorliegenden Wulfen-Studie<sup>129</sup>. Gründe für die unsicheren Gewinne sind vielfältig, wobei die jeweiligen Witterungsbedingungen nicht außer Acht gelassen werden dürfen (GRAEFF et al. 2010, S. 77). Auch in den Befragungen bei REICHARDT und JÜRGENS (2008, S. 587) gaben nur ungefähr die Hälfte der interviewten PF-Nutzer an, finanzielle Vorteile durch den Einsatz von PF erwirtschaften zu können.

---

<sup>127</sup> Untersuchungen innerhalb des pre-agro-II-Projektes, Teilprojekt Akzeptanz, durchgeführt in Spontaninterviews auf der Agritechnika 2005 und 2007 und DLG-Feldtagen 2006, wobei der Großteil der Befragungen repräsentativ ist. Genaueres siehe auch REICHARDT und JÜRGENS 2008.

<sup>128</sup> 2010 liegt die durchschnittliche Betriebsgröße schon bei 56 ha (STATISTISCHES BUNDESAMT 2010).

<sup>129</sup> siehe auch Kapitel 3.4.2, Tabelle 5. Der direkte Nutzen von PF schwankt hier zwischen +28,70 €/ha und -63,00 €/ha

Deutlich sicherere Gewinne könnten die Nutzer von Precision-Farming-Technologien erreichen, würden die positiven ökologischen Wirkungen entsprechend honoriert werden. Eine Abschätzung der ökologischen Wirkungen ist aber schwierig. Die beschriebene Wulfen-Studie und deren Hochrechnung für eine flächenweite Ausbreitung zeigt, wie schwierig es ist, die Komplexität der Umweltwirkungen erfassen und qualitativ messen zu wollen. Einzelne empirische Untersuchungen können zwar mögliche ökologische Wirkungen aufzeigen, zu einer allgemeingültigen Aussage, bspw. für alle Regionen in Deutschland, führen sie aber noch lange nicht. Bisher wurden ökologische Wirkungen des Precision Farming über längere Zeiträume und in mehreren Regionen in Deutschland, die diese systematisch erfassen und qualitativ messen könnten, nicht durchgeführt (ZHANG et al. 2002, S. 117). So ist auch die Bemessung der ökologischen Wirkungen direkt vor Ort (von jedem einzelnen PF-Anwender), – wer, mit welcher Technik, welche ökologische Wirkungen erzielt und wie diese konkret monetär bewertet werden – nicht möglich. Es lässt sich leider auch nicht absehen, wann dem dringenden Forschungsbedarf nachgegangen wird, um diese klaffende Lücke zu schließen.

Dennoch löst die Anwendung von Precision Farming eine Reihe von positiven ökologischen Wirkungen aus, die zwar der Gesellschaft kostenlos zur Verfügung gestellt werden, beim Landwirt aber zu deutlich höheren Bewirtschaftungskosten führen (u. a. durch Anschaffung von PF-Technologie). Bspw. ist die Erhaltung der Kulturlandschaft (NQZ 7), mit einem indirekten Nutzen in der Wulfen-Studie zwischen ca. 5 und 27 €/ha<sup>130</sup> bewertet) ein sogenanntes kostenloses Koppelprodukt im Bereich der landwirtschaftlichen Bodennutzung. Die Erhaltung und Pflege der Strukturelemente stellt damit eine Gemeinwohlleistung dar, die nicht über den Markt honoriert wird. Sofern diese Gemeinwohlleistung langfristig erbracht wird, muss sie aber, nach HEISSENHUBER (2011, S. 97), von der Gesellschaft gesondert honoriert werden.

Ein weiterer Grund für die geringe Verbreitung von Precision Farming ist die Tatsache, dass nach wie vor viele Landwirte gar nicht wissen, dass es Precision Farming gibt bzw. was sich hinter dem Begriff Precision Farming verbirgt. Bei Umfragen von REICHARDT und JÜRGENS (2008) in den Jahren 2001–2005 wiesen ca. 50 % der befragten Landwirte ein Informationsdefizit diesbezüglich auf. Bei Landwirten, die

---

<sup>130</sup> siehe auch Kapitel 3.4.2, Tabelle 8

„informiert“ sind und Precision Farming nutzen, hat sich gezeigt, dass das Management der großen Datenmengen sowie das effektive Nutzen der Daten nach wie vor große Probleme bereitet. Das Hauptproblem liegt in der richtigen Interpretation der Daten, da es meist verschiedene Interpretationsmöglichkeiten gibt. Zukünftig sollte verstärkt in die Entwicklung einfacher, praktikabler Managementstrategien investiert werden, um die Landwirte besser bei der Entscheidungsfindung zu unterstützen (REICHARDT und JÜRGENS 2008, S. 578).

Der Zeitfaktor oder die knappen Arbeitskapazitäten in den meisten landwirtschaftlichen Betrieben während Zeiten mit Arbeitsspitzen (Pflanzen und Ernte) sind ein weiterer Grund für die schleppende Verbreitung des Precision Farming (ZHANG et al. 2002, S. 15). „Der hohe Zeitaufwand um mit der Technik vertraut zu werden“ (REICHARDT und JÜRGENS 2008, S. 588), das fehlende technische Verständnis sowie Probleme bei der Kompatibilität zwischen verschiedenen Technikkomponenten schreckt viele potenzielle PF-Nutzer ab (REICHARDT und JÜRGENS 2008, S. 579).

### *Arbeit*

Um aber neueste Technologieentwicklungen effizient nutzen zu können und auch in Zukunft davon zu profitieren, muss das Wissen und die Anwendung der Neuheiten permanent erworben und vermittelt werden. So könnte der Bedarf an Wissenstransfer, an Aus- und Weiterbildung und IT-Support für Precision-Farming-Technologie nach RÖSCH et al. (2007, S. 177) zusätzlich Arbeitsplätze im ländlichen Raum schaffen. Große Betriebe könnten es sich leisten, interne qualifizierte Berater für die Anwendung von Precision Farming einzustellen. Doch es sind vor allem die kleineren Betriebe, die sicherlich auf externe Berater zurückgreifen werden. Es ist also vorstellbar, dass Stellen für fachlich kompetente Mitarbeiter in überbetrieblichen Einrichtungen entstehen, die Landwirte zur Anwendung von Precision Farming beraten (HANEKLAUS und SCHNUG 2006, S. 133), zumal es derzeit an offizieller Beratung bzgl. Precision Farming mangelt (REICHARDT und JÜRGENS 2008, S. 600).

Andererseits könnten aber diese externen Arbeitsplätze durch Internetplattformen und Onlineschulungen wieder kompensiert werden, so dass die Anzahl der durch Precision Farming neu entstandenen Jobs tatsächlich kleiner würde (HANEKLAUS und SCHNUG 2006, S. 133). Auch durch die bislang fehlende Rentabilität der Technik für kleinere Betriebe kann die Diffusion von Precision Farming eine Beschleunigung des Strukturwandels im ländlichen Raum nach sich ziehen und damit von dieser Seite

aus gesehen auch zu einem Abbau von Arbeitsplätzen führen (RÖSCH et al. 2007, S. 178).

### *Wettbewerbsfähigkeit*

Vor dem Hintergrund der fortschreitenden Liberalisierung des Agrarwelthandels wird es bzgl. einer Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Landwirtschaft immer wieder notwendig, das vergleichsweise hohe Kostenniveau zu senken und gleichzeitig die steigenden gesellschaftlichen Anforderungen an Umwelt- und Verbraucherschutz zu erfüllen. Dazu bedarf es permanenter organisatorischer und technologischer Innovationen in der Landwirtschaft. Precision Farming könnte dies leisten (RENTENBANK 2006). Die Nutzung modernster Steuerungs-, Sensorik-, Regelungs- und Informationstechnologie führt zu einer Steigerung der Produktivität und Wettbewerbsfähigkeit der landwirtschaftlichen Betriebe. Neue Technologien tragen aber auch dazu bei, die Wettbewerbsfähigkeit landwirtschaftlicher Unternehmen, wie bspw. Landtechnikhersteller, zu steigern (ENGEL 2004a).

Eine wichtige Rahmenbedingung für die Wettbewerbsfähigkeit in der Landwirtschaft ist die gesellschaftliche Akzeptanz von Innovation und technischem Fortschritt wie dem Precision Farming. Hier wird es in Zukunft noch stärker darauf ankommen, einer gegenüber Innovationen in der Landwirtschaft kritischen Öffentlichkeit zu kommunizieren, dass ein sorgsamer Umgang mit natürlichen Ressourcen häufig nur auf der Basis von technischem Fortschritt möglich ist (RENTENBANK 2006). *Dabei ist die Nutzung von Precision Farming im Landbau aus der Sicht eines Landtechnikherstellers heute keine grundsätzliche Frage mehr, sondern eine Voraussetzung, um zukünftigen Anforderungen im Hinblick auf Produktivität, Umweltschutz und Verbraucherbedürfnissen gerecht zu werden* (ENGEL 2004b).

### *Trend*

Es steht also unumstritten fest, dass die Technologie, um den vielfältigen zukünftigen Anforderungen der Landwirtschaft gerecht zu werden, an sich vorhanden ist. Die Hauptaufgabe für die Zukunft wird aber sein, die verschiedenen technologischen Möglichkeiten in ein praktikables und einfaches Precision Farming zu integrieren und vor allem die entsprechenden Strukturen für einen Wissenstransfer und eine Beratung zu schaffen (MAYER 2010, S. 116). Ohne einen deutlichen Ausbau der "Informationsinfrastruktur" für den Bereich des Precision Farming an Schulen, bei Beratern, Wissenschaftsgemeinschaften und auch im privaten Sektor wird die Techno-

logie des Precision Farming kaum eine weite Verbreitung finden (ZHANG et al. 2002, S. 125). Dabei spielt eine wichtige Rolle, dass auch die Politik ihre Unterstützung liefert. Die Diffusion von Precision Farming könnte z. B. durch einen Innovationszuschuss für innovative Produktionsverfahren gefördert werden (AUSSCHUSS FÜR BFTA 2006, S. 15 f.), wie auch in Kapitel 5 dieser Arbeit bereits empfohlen. Wissenschaft, privater Sektor, Politik und die Landwirte müssen gemeinsam eine gut funktionierende Infrastruktur für Precision Farming auf- und ausbauen (SRINIVASAN 2006, S. 15).

Der allgemeine Trend, dass große landwirtschaftliche Betriebe am ehesten gewillt sind, Precision Farming auf ihren Flächen anzuwenden und in PF zu investieren, wird sich sicherlich auch in Zukunft in Deutschland fortsetzen. Allerdings holen die kleineren Betriebe, vor allem in Westdeutschland, auf. In den Umfragen bei REICHARDT und JÜRGENS (2008, S. 583) bewirtschaften beginnende und potenzielle Precision-Farming-Nutzer deutlich kleinere Betriebe (ca. 150 ha), deren durchschnittliche Flächengröße jedoch deutlich über der durchschnittlichen Betriebsgröße eines landwirtschaftlichen Betriebes (ca. 50 ha) liegt. Dies deutet darauf hin, dass Precision Farming auch zunehmend für kleinere Betriebe mit einer kleineren durchschnittlichen Schlaggröße attraktiver wird. Denn gerade für die kleineren landwirtschaftlichen Betriebe stellt das Precision Farming eine große Chance dar (MAYER 2010, S. 116) sich im (globalen) Wettbewerb zu behaupten.

Nach Meinung von befragten Landwirten bei REICHARDT und JÜRGENS (2008, S. 597 f.), glaubt auch die Mehrheit, dass Precision Farming in jedem Fall eine Zukunft in Deutschland hat, vor allem in Ostdeutschland. Aber auch im Westen wird Precision Farming vermehrt angewendet werden, da immer mehr Lohnunternehmer oder Maschinenringe teilflächenspezifische Dienstleistungen anbieten und so auch kleinere Betriebe von der Technik profitieren können. Die Technik wird in Zukunft mehr und mehr zum Standard, wodurch sie automatisch billiger wird. So wird es in naher Zukunft gar nicht mehr ohne diese Technik gehen durch den enormen ökonomischen Druck, die erhöhten Umweltauflagen (bspw. durch die neue GAP nach 2013) und die zunehmende Dokumentationspflicht. Außerdem wird die Landwirtschaft in Zukunft mit einem zunehmenden Arbeitskräftemangel zu kämpfen haben, so dass immer mehr Arbeitsgänge automatisiert werden müssen.



Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die skizzierten Unsicherheiten gegenwärtig viele Betriebe davon abhalten, in Techniken des Precision Farming zu investieren. Der anfängliche zusätzliche Kapitaleinsatz und erhöhte Managementaufwand führt zwar in erster Linie zu einem effizienteren Umgang mit Betriebsmitteln, aber nur bedingt zu einer raschen Verbesserung der landwirtschaftlichen Betriebseinkommen. Insgesamt scheint es derzeit aber dennoch einen Trend zu geben hin zu landwirtschaftlichen Produktionsverfahren mit einem reduzierten Einsatz an Kapital, Arbeit und Betriebsmitteln (RÖSCH et al. 2007, S. 193). Wenn nun zukünftige Precision-Farming-Technologien angeboten würden, die weitestgehend eine Automatisierung der PF-spezifischen Arbeitsabläufe gewährleisten, so könnten diese Techniken auch unter zunehmendem wirtschaftlichen Druck und wachsenden Anforderungen an Umweltschutz und Dokumentation für mehr landwirtschaftliche Betriebe interessant werden (AUSSCHUSS FÜR BFTA 2006, S. 187).

Nach mehr als zehn Jahren Entwicklung steht Precision Farming am Scheideweg. Ein Großteil der erforderlichen Technologien ist vorhanden, aber der eindeutige ökonomische und ökologische Nutzen ist noch nicht sicher bewiesen, auch aufgrund der Ergebnisse in der vorliegenden Arbeit. Viele Landwirte sind sich unsicher, die verfügbaren Precision-Farming-Technologien anzuwenden. Die Motivation zu einer flächenweiten Einführung des Precision Farming könnte von vielen Seiten herrühren, sei es von strengen Umweltauflagen (bspw. in der neuen GAP nach 2013), öffentlichen Bedenken gegenüber exzessivem Pflanzenschutzmittelgebrauch, ökonomischen Gewinnen aus reduziertem Betriebsmitteleinsatz und verbessertem Betriebsmanagement.

Letzten Endes wird aber der Erfolg der Precision-Farming-Technologien und somit auch dessen flächenweite Einführung in Deutschland anhand seiner ökonomischen **und** ökologischen Vorteile gemessen werden (ZHANG et al. 2002, S. 114).

## 7. Zusammenfassung

Ziel der volkswirtschaftlichen Analyse des Precision Farming ist es, quantitativ untermauerte Aussagen bzgl. einer staatlichen Förderung der Precision Farming-Technologie zu treffen. So sind über die Methode der Nutzen-Kosten-Analyse alle relevanten Projektwirkungen, die im Vergleich Einführung von Precision Farming im Landbau und Nicht-Einführung Precision Farming im Landbau entstehen, identifiziert worden. Die Quantifizierung der direkten Wirkungen erfolgte am Beispiel der „Wulfen-Studie“ (Region Köthen, Sachsen-Anhalt). Für die indirekten Umweltwirkungen ist in einem ersten Schritt eine naturschutzfachliche Bewertung von Umweltgütern auf der Basis von Experteneinschätzungen (am Beispiel der „Wulfen-Studie“) erfolgt. Im zweiten Schritt wurden den einzelnen indirekten Umweltwirkungen monetäre Studienwerte aus der Literatur zugeordnet (benefit transfer). Nach Prüfen der Sensitivität und Erfassung der Intangibles zeigt die Gegenüberstellung der Nutzen und Kosten des Precision Farming, dass der Nettonutzen (im Durchschnitt über die Untersuchungsjahre von +24,91 €/ha bis zu +244,80 €/ha variiert.

Der Entwurf eines Heterogenitätsindikators zur Beschreibung der Beziehung zwischen Nettonutzen und Heterogenität eines Schlages führte mangels fehlenden Datenmaterials über mehrere Jahre nicht zu den erhofften Aussagen. Allein die Heterogenitätsverteilung in Ostdeutschland konnte dargestellt werden.

Unter der Annahme, dass die Ergebnisse der Fallstudie Wulfen auch repräsentativ für andere Regionen in Deutschland seien, erfolgte die Hochrechnung des Nettonutzen/ha zunächst über Daten aus der Statistik (2006). So ergibt sich ein volkswirtschaftlicher Nettonutzen einer Einführung von Precision Farming auf allen Getreideflächen der BRD von durchschnittlich 711,6 Mio. €. Die aussagekräftigere Hochrechnung des Nettonutzens/ha über das CORINE-Programm ergibt einen volkswirtschaftlichen Nettonutzen einer Einführung von Precision Farming in Ostdeutschland von durchschnittlich 45,6 Mio. €.

Aufgrund der vielfältigen positiven Umweltwirkungen des Precision Farming kann eine staatliche Förderung des Precision Farming zu einer flächenweiten Verbreitung durchaus als legitim erachtet werden. Unter Berücksichtigung der Hemmschwelle der hohen Investitionskosten für die Technik in der praktischen Einführung könnte von dieser Stelle aus das umweltpolitische Instrument des Investitionszuschusses für umweltfreundliche innovative Technik und Produktionsverfahren als geeignete För-

derungsmaßnahme zu einer Verbreitung der Precision Farming-Technologie empfohlen werden. Generell kann aber eine staatliche Förderung des Precision Farming nicht empfohlen werden, da unsere Aussagen auf vielen Annahmen beruhen (bspw. Ergebnisse der Wulfen-Studie sind repräsentativ für alle Regionen der BRD), die in weiterer Forschungsarbeit überprüft werden müssten.

## 8. Literatur

- AGRARHEUTE (2011)a: Agrarministerrat: Länder gegen Greening der Direktzahlungen. <http://agrarheute.com/agrarministerkonferenz-gap>. Aufruf: 3.7.2012.
- AGRARHEUTE (2011)b: Präziser Ackerbau – heute und in Zukunft. Artikel vom 15.11.2011. Agrarheute. <http://www.agrarheute.com/smartfarming> Aufruf: 25.9.2012.
- AGRARHEUTE (2012): 50 Jahre GAP. Die "einzige wahrhaft gemeinsame Politik". <http://www.agrarheute.com/50-jahre-gap>. Aufruf: 23.2.2012.
- AHLHEIM, M., FRÖR, O. (2003): Valuing the non-market production of agriculture. *Agrarwirtschaft* 52, Heft 8, 356–369.
- ANDEL, N. (1977): Nutzen-Kosten-Analysen. – In: Haller, H. und Andel, N. (Hrsg.): *Handbuch der Finanzwissenschaft*. Mohr, Tübingen, 475–518.
- ANDEL, N. (1998): Nutzen-Kosten-Analysen. – In: *Finanzwissenschaft*. Mohr Siebeck, Tübingen, 86–91.
- AUERNHAMMER, H. (2001): Precision Farming – Technische Möglichkeiten im Ackerbau. RHG Gespräche. *Nachhaltige Landwirtschaft*, 41–58.
- AUSSCHUSS FÜR BFTA (Ausschuss für Bildung, Forschung u. Technikfolgenabschätzung) (2006): Bericht des Ausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung (18. Ausschuss) gemäß § 56a der Geschäftsordnung. Technikfolgenabschätzung (TA). TA-Projekt: Moderne Agrartechniken und Produktionsmethoden-ökonomische und ökologische Potenziale. 2. Bericht: Precision Agriculture. Berlin: Deutscher Bundestag. 16.Wahlperiode. 16/3218.
- BALDENHOFER, K. G. (2009): Precision Farming und Fernerkundung. *Lexikon der Fernerkundung*. <http://www.fe-lexikon.info/lexikon-phtml#precision-farming>. Aufruf: 21.1.2009.
- BARTEL, R. UND HACKL, F. (2001): Einführung in die Umweltpolitik. *WiSo Kurzlehrbücher*. Verlag Franz Vahlen, München.
- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (2008): Bayerisches Vertragsnaturschutzprogramm (VNP/EA)-Verpflichtungszeitraum 2008–2012. Biotoptyp Acker Grundleistung/Zusatzleistung. [www.stmlf.bayern.de/agrarpolitik/programme/foerderwegweiser/11028/linkurl\\_13.pdf](http://www.stmlf.bayern.de/agrarpolitik/programme/foerderwegweiser/11028/linkurl_13.pdf), Aufruf: 3.7.2012.
- BELL, S. S. UND MC COY, E. D. (1991): Habitat structure: The evolution and diversification of a complex topic. – In: Bell, S. S., Mc Coy, E. D. und Mushinsky, H. R. (Hrsg.): *Habitat structure: The physical arrangement of objects in space*. Chapman und Hall, London, 3–16.
- BERGER, G. UND JÖRNS, S. (2005): Persönliches Gespräch. Projektbesprechung pre agro II mit TP4 (Naturschutz).
- BERGER, G. UND JÖRNS, S. (2006): Persönliches Gespräch, Projektbesprechung pre agro II mit TP4 (Naturschutz).
- BERGER, G. UND JÖRNS, S. (2007): Persönliches Gespräch. Projektbesprechung pre agro II mit TP4 (Naturschutz).

- BISSELS, S. UND OPPERMAN, R. (2011): Analyse und Bewertung von Reformvorschlägen zur Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) im Hinblick auf Ressourcenschutz und Nachhaltigkeit. – In: Die Gemeinsame Agrarpolitik der Europäischen Union nach 2013. Frankfurt/Main, 141–175.
- BLANKART, C. B. (2006): Nutzen-Kosten-Analyse. – In: Öffentliche Finanzen in der Demokratie. Verlag Vahlen, München, 467–488.
- BLUM, U., KARMANN, A., LEHMANN-WAFFENSCHMIDT, M., THUM, M., WÄLDE, K. UND WIESMETH, H. (2003): Grundlagen der Volkswirtschaftslehre. (2. Auflage). Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York.
- BMELV (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz) (2011): Nationale Rahmenregelung der Bundesrepublik Deutschland für die Entwicklung ländlicher Räume (ELER).  
<http://www.bmelv.de/Share/Docs/Rechtsgrundlagen/E/ELER-VO.htm>. Aufruf: 3.7.2012.
- BMF (Bundesministerium der Finanzen) (1973): Erläuterungen zur Durchführung von Nutzen-Kosten-Untersuchungen. – In: Minbl des Bundesministers der Finanzen und des Bundesministers für Wirtschaft mit Veröffentlichungen des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau.
- BOESS, J., LÖSEL, G. UND BEUNE, I. (2002): Möglichkeit und Grenzen der Nutzung der Bodenschätzung für die teilflächenspezifische Bewirtschaftung. – In: Mitteilungen Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft, 97–98.
- BROOKSHIRE, D. S. UND NEILL, H. R. (1992): Benefit transfers: conceptual and empirical issues. *Water Resour. Res* 28 (3), 651–655.
- BUCKELY, A., ROSS, S. A., WESTERFIELD, R. W. UND JAFFE, J. F. (2000): Finanzmanagement europäischer Unternehmen (deutsche Ausgabe). McGraw-Hill.
- BÜKER, TH. (2004): Überarbeitung der gesamtwirtschaftlichen Bewertungsmethodik des Bundesverkehrswegeplans 2003. Lehrstuhl für Stadtbauwesen und Stadtverkehr, Univ.-Prof. Klaus J. Beckmann.
- BVWP (Bundesverkehrswegeplan) (2003)a: Bewertungsverfahren BVWP 2003. Teil I: Grundlagen der Methodik. – In: Bundesministerium für Verkehr, B. u. W. B. (Hrsg.): Bundesverkehrswegeplan 2003. Druckerei des BMVBW, Bonn, 21–35.
- BVWP (Bundesverkehrswegeplan) (2003)b: Bewertungsverfahren BVWP 2003, Teil II: Bewertungskomponenten der NKA. – In: Bundesministerium für Verkehr, B. u. W. (Hrsg.): Bundesverkehrswegeplan 2003. Druckerei des BMVBW, Bonn, 69–99.
- BVWP (Bundesverkehrswegeplan) (2003)c: Bundesverkehrswegeplan 2003. Druckerei des BMVBW, Bonn.
- CORINE (2004): Land Cover. Umweltbundesamt. 2004. DLR-DFD 2004.
- DABBERT, S., KILIAN, B., VOGEL, T. (2004): Ökonomie. Kapitel 5.1. Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau. In: Verbundprojekt pre agro I. Abschlussbericht, 1–62. Müncheberg, ZALF (Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e.V.).

- DAMMER, K. H., WOLLNY, J., HAN, B., VOLK, T. UND WISCHKE, T. (2008): Grundlagen zum Pflanzenschutz im Precision Farming. – In: Werner, A., Endres, A. und Schwarz, J. (Hrsg.): Informationsgeleitete Pflanzenproduktion mit Precision Farming als zentrale inhaltliche und technische Voraussetzung für eine nachhaltige Entwicklung der landwirtschaftlichen Landnutzung – pre agro II. Abschlussbericht. Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e.V. (ZALF), Müncheberg, 261–291.
- DASGUPTA, A. K. UND PEARCE, D. W. (1978): Cost-Benefit-Analysis. Theory and Practice. The MacMillan Press LTD, London and Basingstoke.
- DEGENHARDT, S. UND GRONEMANN, S. (2000): Was darf Naturschutz kosten? – Ein Meinungsbild. IX-3. – In: Konold, W. und Böcker, R. (Hrsg.): Handbuch Naturschutz und Landschaftspflege. ecomed, Landsberg, 1–9.
- DONUSCH, H. UND SCHIRRMANN, M. (2009): Teilflächenspezifische Grunddüngung. Bornimer agrartechnische Berichte. Heft 72. Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V., Potsdam.
- EHLERT, D., DAMMER, K. H., DEGLER, H. (2004): Fungizide, Herbizide, Halmstabilisatoren. Kapitel 4.7. Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau. Verbundprojekt pre agro I. Abschlussbericht, 285–325. Müncheberg, ZALF (Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e.V.)
- ENDRES, A. UND HOLM-MÜLLER, K. (1998): Bewertung von Umweltschäden. Theorie und Praxis sozioökonomischer Verfahren. Kohlhammer Verlag, Stuttgart, Berlin, Köln.
- ENDRES, A., JARRE, J., KLEMMER, P. UND ZIMMERMANN, K. (1991): Der Nutzen des Umweltschutzes – Synthese der Ergebnisse des Forschungsschwerpunktprogramms "Kosten der Umweltverschmutzung/Nutzen des Umweltschutzes". Berlin: Umweltbundesamt. 12/91.
- ENGEL, T. (2004)a.: Precision Farming aus der Sicht eines Landmaschinenherstellers. Vortrag zur DLG-Wintertagung.  
<http://download.dlg.org/pdf/wita2004/kruzfassPrecisionFarming.pdf>.  
 Aufruf: 14. Januar 2004. Berlin.
- ENGEL, T. (2004)b: Precision Farming aus der Sicht eines Landmaschinenherstellers. Kurzfassung des Vortrags zur Wintertagung.  
<http://download.dlg.org/pdf/wita2004/thengel.pdf>. Aufruf: 14. Januar 2004.
- EUR-LEX (2002): Konsolidierte Fassung des Vertrages zur Gründung der Europäischen Gemeinschaft. <http://eur-lex.europa.eu/se/treaties/dat/12002E/html>.  
 Aufruf: 27.10.2012.
- EUROPEAN COMMISSION (2012)a: Erfolg durch Wandel.  
[http://ec.europa.eu/agriculture/capexplained/change/index\\_de\\_print.htm](http://ec.europa.eu/agriculture/capexplained/change/index_de_print.htm).  
 Aufruf: 23.2.2012.
- EUROPEAN COMMISSION (2012)b: Unterstützung für den ländlichen Raum.  
[http://ec.europa.eu/agriculutr/capexpained/assistance/index\\_de\\_print.ht](http://ec.europa.eu/agriculutr/capexpained/assistance/index_de_print.ht).  
 Aufruf: 23.2.2012.
- EUROPEAN COMMISSION (2012)c: GAP-Förderung einer nachhaltigen Landwirtschaft im globalen Umfeld.  
[http://ec.europa.eu/agriculture/capexplained/sustain/index\\_de\\_print.htm](http://ec.europa.eu/agriculture/capexplained/sustain/index_de_print.htm).  
 Aufruf: 23.2.2012.

- EUROPEAN COMMISSION (2013): GAP-Reform-Erläuterungen der wichtigsten Aspekte- MEMO/13/937 25/10/2013.  
[http://europa.eu/rapid/press\\_release\\_MEMO-13937\\_de.htm](http://europa.eu/rapid/press_release_MEMO-13937_de.htm). Aufruf: 16.12.2013.
- EUROPEAN UNION (2011): GAP-Reform: Erläuterung der wichtigsten Aspekte nach 2013. MEMO/11/685.  
<http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?referende=MEMO/11/685&format=HT>. Aufruf: 2.8.2011.
- GAY, S. H., OSTERBURG, B. UND SCHMIDT, T. (2004): Szenarien der Agrarpolitik- Untersuchung möglicher agrarstruktureller und ökonomischer Effekte unter Berücksichtigung umweltpolitischer Zielsetzungen. Berlin.
- GRAEFF, S. , CLAUPEIN, W. (2004): Möglichkeiten und Perspektiven im Pflanzenbau durch Precision Farming. Landwirtschaftlicher Hochschultag Uni Hohenheim. Landinfo 3/04, 4–9.
- GRAEFF, S., LINK, J., TRUMPP, S. UND CLAUPEIN, W. (2010): Einfluss heterogener Standortfaktoren auf Biomasse- und Kornertrag von Mais-Relevanz für eine teilflächenspezifische Bewirtschaftung. – In: Claupein, W., Theuvsen, L., Kämpf, A. und Morgenstern, M. (Hrsg.): Precision Farming Reloaded- Informationsgestützte Landwirtschaft, GIL-Jahrestagung in Hohenheim (Band 22), 77–80.
- HACKL, F., PRUCKNER, G.J. (2001). Die Kosten/Nutzen-Analyse als Bewertungsinstrument der Umweltpolitik. – In: Bartel, R., Hackl, F: Einführung in die Umweltpolitik, 81–99.
- HAMPICKE, U., TAMPE, K., KIEMSTEDT, H., HORLITZ, TH., WALTERS, M. UND TIMP, D. (1991): Kosten und Wertschätzung des Arten- und Biotopschutzes. Erich Schmidt Verlag, Berlin.
- HANEKLAUS, S. UND SCHNUG, E. (2006): Site-specific nutrient management: Objectives, current status and future research needs. - In: Srinivasan, A. (Hrsg.): Handbook of Precision Agriculture. Principles and Application. Food Product Press, New York, 91–151.
- HANUSCH, H. (1987): Nutzen-Kosten-Analyse. Wiso-Kurzlehrbücher. Verlag Vahlen; München.
- HANUSCH, H. UND KUHN, T. (1995): Kosten-Nutzen-Untersuchungen. Hannover.
- HEBAUER, C., GANDORFER, M., HOFFMANN, H. UND HEISSENHUBER, A. (2011): Die Gemeinsame Agrarpolitik (GAP) der Europäischen Union nach 2013. – In: Die Gemeinsame Agrarpolitik (GAP) der Europäischen Union nach 2013. Frankfurt/Main, 7–39.
- HEISSENHUBER, A. (2011): Nahrungsmittel versus öffentliche Güter, Bewertungen und Ausgleichsmodelle. – In: Agrarwelt im Umbruch. Herausforderungen und Chancen. DLG, Frankfurt/Main.
- HERBST, R. UND LAMP, J. (1998): Zur kleinräumigen Heterogenität der Böden Deutschlands und zum Akzeptanzpotential der Teilflächenbewirtschaftung. – In: Erfassung der kleinräumigen Heterogenität. KTBL-Schriften Vertrieb im Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup Darmstadt, 33–41.

- HESSE, H. (1980): Nutzen-Kosten-Analyse I: Theorie. – In: Handwörterbuch der Wirtschaftswissenschaften. Gustav Fischer, J.C.B. Mohr, Vandenhoeck & Rupprecht, Stuttgart, New York, Tübingen, Göttingen, Zürich, 361–382.
- HOPPE, W. UND APPOLD, W. (1991): Umweltverträglichkeitsprüfung – Bewertung und Standards aus rechtlicher Sicht. Deutsches Verwaltungsblatt H.22, 1221–1225.
- HUFNAGEL, J., HERBST, R., JARFE, A. UND WERNER, A. (2004): Precision Farming: Analyse, Planung, Umsetzung in die Praxis. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Darmstadt.
- HUFSCHMIDT, M. M., JAMES, D. E., MEISTER, A. D., BOWER, B. T. UND DIXON, J. A. (1983): Environment, Natural Systems and Development. An Economic Valuation Guide. The Johns Hopkins University Press, Baltimore and London.
- HÜTER, J., KLOEPFER, F. UND KLÖBLE, U. (2005): Elektronik, Satelliten und Co. Precision Farming in der Praxis. KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster.
- INFAS (2001): infas. GEODATEN GmbH. 2001. GEMDAT.
- JÖRNS, S. (2005): Informationsaustausch innerhalb Verbundprojekt pre agro II mit TP4 (Naturschutz).
- JÖRNS, S., BERGER, G. UND WOLF, I. (2008): Naturschutzfachliche Bedeutung des Precision Farming im Landschaftskontext. – In: Werner, A., Dreger, F. und Schwarz, J. (Hrsg.): Informationsgeleitete Pflanzenproduktion mit Precision Farming als zentrale inhaltliche und technische Voraussetzung für eine nachhaltige Entwicklung der landwirtschaftlichen Landnutzung – pre agro II. Abschlussbericht. (Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V.), Müncheberg, 485–526.
- JUNG, M. (1996): Präferenzen und Zahlungsbereitschaft für eine verbesserte Umweltqualität im Agrarbereich. (Institut für Agrarpolitik und Landwirtschaftliche Marktlehre der Universität Hohenheim). Peter Lang GmbH. Europäischer Verlag der Wissenschaften, Frankfurt am Main.
- JÜRGENS, C. UND REICHARDT, M. (2005): Akzeptanz von Precision Agriculture in Deutschland Verbundprojekt pre agro II – Teilprojekt 6: Erlebnisbericht zu der Umfrage während der AGRITECHNIKA 2001 und 2003.
- JÜRGENS, C. UND REICHARDT, M. (2006): Precision Farming in der Praxis. Forschungsverbundprojekt pre agro II: Teilprojekt 6.
- JÜRSCHIK, P. (2006): Persönliche Korrespondenz innerhalb pre-agro-II-Verbundprojekt mit Fa. Agrocom. [juerschik@agrocom.com](mailto:juerschik@agrocom.com).
- KÄMMERER, S. (1995): Die Contingent-Valuation-Methode zur monetären Bewertung von Umweltpolitik. – In: Die Landwirtschaft nach der EU-Agrarreform. Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup.
- KÄMMERER, S., SCHMITZ, P.M., WIEGAND, S. (1996): Monetäre Bewertung der Kulturlandschaft in Baden-Württemberg – Bürger bewerten ihre Umwelt. – In: Linckh, G., Sprich, H., Flaig, H., Mohr, H. (Hrsg.). Nachhaltige Land- und Forstwirtschaft. Expertisen. Springer, Berlin, 503–523.



- KARKOW, K. (2003): Wertschätzung von Besuchern der Erholungslandschaft Groß Zicker auf Rügen für naturschutzgerecht genutzte Ackerstandorte in Deutschland. Universität Greifswald.
- KINDLER, R. (1992): Ertragsschätzung in den neuen Bundesländern. Pflug und Felder. St. Augustin, Deutschland.
- KLEMPIEN, D. (2013): Die Nutzwertanalyse.  
<http://www.controllingportal.de/Fachinfo/Grundlagen/dieNutzwertanalyse.html>  
 Aufruf: 16.10.2013.
- KNOOP, F., LAMP, J., SCHNUG, E. (1985): Regionale Variabilität von Merkmalen der Bodenfruchtbarkeit, Modell zur Erfassung und Darstellung. Mitteilungen Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft. Band 43, Heft II, 655–660.
- KÖSTLI, D., FEHLMANN, F. (2011): Mit Precision Farming in die Zukunft. die grüne. Artikel vom 20.1.2011. Bern, Schweizer Agrarmedien GmbH.
- KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.) (2010): SDB: Standarddeckungsbeiträge/Bodennutzung/Weichweizen/Hartweizen Sachsen-Anhalt.
- LANDTECHNIKMAGAZIN (2012): Optimaler Ertrag durch Precision Farming mit Radartechnologie von Claas Agrosystems und Allianz Re.  
[www.landtechnikmagazin.de](http://www.landtechnikmagazin.de). Aufruf: 25.9.2012
- LAMP, J., CAPELLE, A., EHLERT, D., JÜRSCHIK, P., KLOEPFER, F., NORDMEYER, H. S. D. UND WERNER, A. (1998): Erfassung der kleinräumigen Heterogenität in der teilflächenspezifischen Pflanzenproduktion. – In: Erfassung der kleinräumigen Heterogenität. KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup Darmstadt, 7–32.
- LAYARD, R. UND GLAISTER, S. (1994): Cost-Benefit-Analysis. University Press, Cambridge.
- LOOMIS, J. B., ROSENBERGER, R. S. (2006): Reducing barriers in future benefit transfers: Needed improvements in primary study design and reporting. Ecological Economics 60[2], 343–350.
- LUDOWICY, C., SCHWAIBERGER, R. UND LEITHOLD, P. (2002): Precision Farming, Handbuch für die Praxis. (1. Auflage). Frankfurt am Main.
- MARGGRAF, R. UND STREB, S. (1997): Ökonomische Bewertung der natürlichen Umwelt. Theorie, politische Bedeutung, ethische Diskussion. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg Berlin.
- MAYER, W. H. (2010): Precision Farming also for small scale farmers. – In: Clau-pheim, W., Theuvsen, L., Kämpf, A. und Morgenstern, M. (Hrsg.): Referate der 30. GIL-Jahrestagung in Hohenheim 2010. Precision Farming Reloaded- Informationsgestützte Landwirtschaft, 113–124.
- MC COMB, G., LANTZ, V., NASH, K., RITTMASER, R. (2006): International valuation databases: Overview, methods and operational issues. Ecological Economics , 461–472.
- MESSNER, F. (2000): Ansätze zur Bewertung von Naturqualitäten im regionalen Entwicklungsprozess. 5/2000.

- MIRSCHER, W. (2007): Datenaustausch innerhalb pre-agro-II-Projekt. Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., Müncheberg. [wmirschel@zalf.de](mailto:wmirschel@zalf.de).
- MIRSCHER, W., WIELAND, R. UND WENKEL, K.-O. (2006): Spatial Analysis and Modelling Tool V 2.0-applications to the landscape indicators crop yield and crop coverage. – In: Studzinski, J. und Hryniewicz, O. (Hrsg.): Eco- Info and Systems Research. Polish Academy of Sciences/Systems Reserach Institute, Warsaw, 11–28.
- MISHAN, E. J. (1971): Cost-Benefit-Analysis. An informal introduction. George Allen & Unwin LTD, London.
- MÖBIUS, J. (2011): Precision Farming: Dahin geht die Reise. Agrarheute. [www.agrarheute.com/precision farming](http://www.agrarheute.com/precision-farming). Aufruf: 25.9.2012.
- MÜHLENKAMP, H. (1994): Kosten-Nutzen-Analyse. R. Oldenbourg Verlag, München.
- MUHR, T. UND NOACK, P. O. (2004): Automatisierte Korrektur und Verarbeitung von Ertragsdaten. – In: Mangementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau, Verbundprojekt pre agro II. Müncheberg, 217–237.
- MÜLLER, CH. (2002): Charakterisierung von Standortheterogenität kleinflächiger Ackerstilllegungsareale zur Ableitung biotischer Potentiale. Universität Potsdam.
- MÜLLER, K. (2008): Persönliches Gespräch zur Vorstellung des Konzeptes der Dissertation "Volkswirtschaftliche Analyse einer flächenweiten Einführung von Precision Farming in Deutschland". Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., Müncheberg.
- MUTHKE, T. (2001): Benefit Transfer: Eine Alternative zur primären Bewertung von Umweltgütern? – In: Elsasser, P. und Meyerhoff, J. (Hrsg.): Ökonomische Bewertung von Umweltgütern. Methodenfragen zur Kontingenten Bewertung und praktische Erfahrungen im deutschsprachigen Raum. Metropolis Verlag, Marburg, 269–290.
- NOTTMEYER-LINDEN, K., MÜLLER, S., HORSTE, D. UND WEGGE, J. (2000): Optimierung des Vertragsnaturschutzes im Warmenau-Projekt: Zwischenergebnisse, Konzepte, Ziele. – In: Nottmeyer-Linden, K., Müller, S., Horst, D. und Schweppe-Kraft, B. (Hrsg.): Zukunft des Vertragsnaturschutzes. Neue Konzepte von Naturschutz und Landwirtschaft. Tagungsbericht zum Abschluss der Voruntersuchung des Erprobungs- und Entwicklungsvorhabens "Warmenau". Bundesamt für Naturschutz 2000, Bonn-Bad Godesberg, 85–111.
- OPPERMAN, R., BLEW, J., HAACK, S., HÖTKER, H. UND POSCHOLD, P. (2010): Gemeinsame Agrarpolitik (GAP) und Biodiversität. Bundesmat für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg.
- PEARCE, D. W. UND NASH, C. A. (1981): The Social Appraisal of Projects. A text in Cost-Benefit-Analysis. The MacMillan Press LTD, London and Basingstoke.
- PETERSEN, H. G. UND MÜLLER, K. (1999): Volkswirtschaftspolitik. Verlag Vahlen, München.

- PLACHTER, H., JANßEN, B. (2004): Naturschutzziele. Kapitel 3. Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau. Verbundprojekt pre agro I. Abschlussbericht, 163–196. Müncheberg, ZALF (Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e.V.).
- PLACHTER, H., STACHOW, U. UND WERNER, A. (2004): Methoden zur natur-schutzfachlichen Konkretisierung der „Guten fachlichen Praxis“ in der Landwirtschaft. Ergebnisse aus dem F+E-Vorhaben (FKZ 800 88 001) des Bundesamtes für Naturschutz. Münster: Landwirtschaftsverlag. Heft X.
- PREMIS (2006): Projektdatenbank. Interpolierte Ertragskarten Versuchsbetrieb WIMEX. Pre agro II.
- READY, R., NAVRUD, S. (2006): International benefit transfer: Methods and validity tests. *Ecological Economics* 60[2], 429–434.
- REICHARDT, M. UND JÜRGENS, C. (2008): Precision Farming in Deutschland – bestehende Akzeptanzmuster und zukünftige Perspektiven einer Technologie. – In: Werner, A., Dreger, F. und Schwarz, J. (Hrsg.): Abschlussbericht: Informationsgeleitete Pflanzenproduktion mit Precision Farming als zentrale inhaltliche und technische Voraussetzung für eine nachhaltige Entwicklung der landwirtschaftlichen Landnutzung – pre agro II. Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung, Müncheberg, 577–606.
- RENTENBANK (2006): Pressemeldung. Symposium der Edmund Rehwinkel-Stiftung: Steigende Wettbewerbsfähigkeit durch Innovation. Pressemeldung vom 21.4.2006. [http://www.rentnebank.de/d/Presse/fContentPM\\_2006-04-21\\_2html](http://www.rentnebank.de/d/Presse/fContentPM_2006-04-21_2html). Aufruf: 24.1.2008.
- RÖSCH, C., DUSSELDORP, M. UND MEYER, R. (2005): Precision Agriculture. 2. Bericht zum TA-Projekt. Moderne Agrartechniken und Produktionsmethoden-ökonomische und ökologische Potenziale. TAB Berlin: Arbeitsbericht Nr. 106.
- RÖSCH, C., DUSSELDORP, M. UND MEYER, R. (2007): Precision Agriculture. Landwirtschaft mit Satellit und Sensor. Frankfurt/Main: Deutscher Fachverlag GmbH.
- ROSENBERGER, R. S., STANLEY, T. D. (2006): Measurement, generalization, and publication: Sources of error in benefit transfers and their management. *Ecological Economics* 60[2], 372–378.
- ROTH, R., REINING, E., ROSNER, G. UND KÜHN, J. (2004): Ortsspezifischen Aussaat von Winterweizen. – In: Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau, Verbundprojekt pre agro I, Abschlussbericht. Müncheberg, 101–120.
- SCHÄUBLE, D. (2007): Nutzungstausch auf Pachtbasis als neues Instrument der Bodenordnung. Universität der Bundeswehr München. Institut für Geoinformation und Landentwicklung.
- SCHMIDT, R. UND DIEMANN, R. (1991): Erläuterungen zur Mittelmaßstäbigen landwirtschaftlichen Standortkartierung (MMK). Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit Müncheberg der Akademie der Landwissenschaften der DDR Bereich Bodenkunde, Fernerkundung Eberswalde, Eberswalde.
- SCHNEIDER, M. (2005): bilateraler Informationsaustausch innerhalb Verbundprojekt pre agro II mit TP3 (Wirtschaftlichkeit).

- SCHNEIDER, M. (2006): Informationsaustausch innerhalb Verbundprojekt preagro II mit TP3 (Wirtschaftlichkeit).
- SCHNEIDER, M. (2007): Arbeitspapier. Daten zu Getreide-Feldversuchen in Wulfen, Ergebnisse, zusätzliche Kosten. Martin-Luther-Universität Halle.
- SCHNEIDER, M. (2011): Expertise innerhalb des preagro II Projektes, agricon. martin.schneider@agricon.de
- SCHNEIDER, M. UND WAGNER, P. (2005): Herangehensweise an eine ökonomische Bewertung von Precision Farming.
- SCHOLLES, F. (2001): Die Kosten-Nutzen-Analyse. – In: Fürst, D. und Scholles, F. (Hrsg.): Handbuch Theorien und Methoden der Raum- und Umweltplanung. Dortmunder Vertrieb für Bau- und Planungsliteratur, Dortmund, 415–431.
- SCHWARZ, J. (2005): Bilateraler Informationsaustausch innerhalb Verbundprojekt pre agro II mit Projektleitung. [www.preagro.de](http://www.preagro.de).
- SOMMER, C., VOßHENRICH, H.-H. (2004): Bodenbearbeitung und Bestellung. Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau. Verbundprojekt pre agro I. Abschlussbericht, 121–150. Müncheberg, ZALF (Zentrum für Agrarlandschaftsforschung)
- SOMMER, M. (2005): Bilateraler Informationsaustausch innerhalb Verbundprojekt preagro II mit TP 14 (Integrative Standortanalyse).
- SPASH, C. L., VATN, A. (2006): Transferring environmental value estimates: Issues and alternatives. *Ecological Economics* 60[2], 379–388.
- SRINIVASAN, A. (2006): Precision Agriculture: An Overview. – In: Handbook of Precision Agriculture. The Haworth Press, Inc., New York, London, Oxford.
- STATISTISCHES BUNDESAMT DEUTSCHLAND (2007): Statistisches Jahrbuch für die BRD (2007). Anbauflächen.
- STATISTISCHES BUNDESAMT DEUTSCHLAND (2008): Deutschland/lange Reihe/ Bevölkerung/Haushalte nach Haushaltsgrößen. [www.destatis.de](http://www.destatis.de). Aufruf April 2008.
- STATISTISCHES BUNDESAMT DEUTSCHLAND (2010): Agrarwirtschaft. Landwirtschaft. Durchschnittliche Betriebsgrößen von Agrarbetrieben 2010 nach Bundesland. <http://de.Statista.com/statistik/printstat/173089>. Aufruf: 13.9.2010.
- STEINBERGER, G. (2005): Informationsaustausch innerhalb Verbundprojekt pre agro II mit TP8. Erstellung auf Basis Auernhammer, H., Demmel, M. Spangler, A. (2000): automatic process data acquisition with GPS and LBS. Abstracts of AgEng Warwick 2000, Agricultural Engineering into the Third Millennium. Paper Number 00-IT-005.
- SUNDERMEIER, H.-H. (2010): IT-Entwicklungen der Agrarökonomie der vergangenen 30 Jahre. – In: W. Claupein, L. Zheuvsen, A. Kämpf, M. Morgenstern (Hrsg). Precision Agriculture Reloaded – Informationsgestützte Landwirtschaft. Referate der 30.GIL-Jahrestagung in Hohenheim 2010. Band 22, 195–200.
- TÄGER-FARNY, W. (2005): Bilateraler Informationsaustausch innerhalb Verbundprojekt preagro II mit Praxisbetrieb Täger-Farny.

- THIELE, H. D. UND WRONKA, T. C. (2001): Umweltgüter und ihre Bewertung: Möglichkeiten und Grenzen des Benefit Transfer. University of Kiel. Working paper EWP 0106 Department of Food Economics and Consumption Studies.
- TRAPHAN, K. (2006): Bilateral Informationsaustausch innerhalb Verbundprojekt pre agro II mit Firma AgriCon. [www.agricon.de](http://www.agricon.de)
- UMWELTBUNDESAMT (2007): Methodenkonvention zur Schätzung externer Umweltkosten. Dessau. [www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf/3193](http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf/3193). Aufruf: 17.6.2013.
- UMWELTBUNDESAMT ÖSTERREICH (2010): CORINE- flächendeckende Erfassung der Flächennutzung. <http://www.umweltbundesamt.at/umwelt/raumordnung/flaechennutzung/corine>. Stand: 8.3.2010.
- WAGNER, P. (2006)a: Produktionsfunktionen und Precision Farming. Martin-Luther-Universität Halle.
- WAGNER, P. (2006)b: Wirtschaftlichkeit von Precision Farming—Methoden und Möglichkeiten der Wirtschaftlichkeitsüberprüfung im landwirtschaftlichen Unternehmen. – In: Hufnagel, J., Herbst, R., Jarfe, A. und Werner, A. (Hrsg.): Precision Farming. Analyse, Planung, Umsetzung in die Praxis. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), Darmstadt, 31–53.
- WAGNER, P. UND SCHNEIDER, M. (2005): Aspekte der Wirtschaftlichkeit von Precision Farming. Arbeitspapier preagro II. Teilprojekt 3: Wirtschaftlichkeit; preagro II. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
- WENKEL, K.-O., BROZIO, S., GEBBERS, R. (2004): Düngung. Kapitel 4.6. Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau. Verbundprojekt pre agro I. Abschlussbericht, 151–284. Müncheberg, ZALF (Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e.V.).
- WERNER, A. (2007): Jetzt Chancen für die Zukunft der Landwirtschaft nutzen. Presseinformation, November 2007. [http://www.preagro.de/docs/PM\\_preagro11\\_07\\_neu.pdf](http://www.preagro.de/docs/PM_preagro11_07_neu.pdf). Aufruf: 13.11.2008.
- WERNER, A. (2008): Keine deutsche Landwirtschaft ohne Precision Farming. Hintergrundgespräch anlässlich der Grünen Woche 2008 Berlin. 15.1.2008. [http://www.preagro.de/docs/01\\_08\\_interviewWerner\\_preagro.pdf](http://www.preagro.de/docs/01_08_interviewWerner_preagro.pdf).
- WERNER, A., DREGER, F. UND SCHWARZ, J. (2008): Informationsgeleitete Pflanzenproduktion mit Precision Farming als zentrale inhaltliche und technische Voraussetzung für eine nachhaltige Entwicklung der landwirtschaftlichen Landnutzung – pre agro II. Abschlussbericht. Müncheberg, ZALF (Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e.V.).
- WERNER, A., KETTNER, E., PAULY, J., REINING, E., ROTH, R., KÜHN, J., SELIGE, T., BOBERT, J., SCHMIDTHALTER U. UND HUFNAGEL, J. (2002): Ertragspotenzial von Teilflächen innerhalb von Ackerschlägen als Schlüsselrolle für die Bestandesführung von precision agriculture. – In: Berger, D., Bornheimer, A., Jarfe, A., Kottenrodt, D., Richter, R., Stahl, K. und Werner, A. (Hrsg.): Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau. Darmstadt, 193–196.

- WIGGERING, H. UND MÜLLER, F. (2004): Umweltziele und Indikatoren. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.
- WIKIPEDIA (2012)a: Echtzeitkinematik.  
<http://de.wikipedia.org/wiki/Echtzeitkinematik>, letzte Aktualisierung: 11.10.2012. Aufruf: 16.10.2012.
- WIKIPEDIA (2012)b: Transgener Mais.  
[http://de.wikipedia.org/wiki/Transgener\\_Mais#Bt-Mais](http://de.wikipedia.org/wiki/Transgener_Mais#Bt-Mais). Aufruf: 23.10.2012.
- WIKIPEDIA (2013): LEADER. <http://de.wikipedia.org/wiki/LEADER>. Aufruf: 16.12.2013.
- WILSON, M. A., HOEHN, J. P. (2006): Valuing environmental goods and services using benefit transfer: The state-of-the-art and science. *Ecological Economics* 60[2], 335–342.
- WINDHORST, W., REICHE, E.-W. UND RINKER, A. (2004): Regionaler Stoffhaushalt. – In: Managementsystem für den orstspezifischen Pflanzenbau, Verbundprojekt pre agro I. Abschlussbericht. Müncheberg, S. 63–100.
- WRONKA, T. C. (1998): Was ist der Preis für Umwelt? Möglichkeiten und Grenzen des kontingenten Bewertungsansatzes. *Agribusiness-Forschung* Nr.6. Institut für Agribusiness, Leipzig, 84 Seiten.
- WÜSTEMANN, H. (2004): Produktion von non commodity outputs in landwirtschaftlichen Betrieben. HU Berlin, Professur für Ökonomik und Politik ländlicher Räume.
- ZANDER, P., MEYER, B., KARPINSKI, I. UND MICHEL, B. (2005): Multifunctionality of agriculture in Germany, German country report.
- ZHANG, N., WANG, M., WANG, N. (2002): Precision Agriculture – a worldwide overview. *Computers and Electronics in Agriculture*. Elsevier 36, 113–132.

## 9. Anhang

Tabelle 19. Katalog und Definition der Naturschutzqualitätsziele (NQZ) speziell auf Ackerflächen (nach PLACHTER und JANßEN 2004, S. 175 ff.

### Teil 1: Abiotik/Umweltschutz

	Naturschutzqualitätsziele (NQZ)	Bewirtschaftungsmodus		Areale
1	Erhaltung des bestehenden Humus- und Torfgehaltes in ursprünglich hydromorphen Böden	BB*	Nur leichte BB bis max. 10 cm Tiefe. Erhalt des standorttyp. Humusspiegels (C/N Verhältnis). Anhebung des Humusspiegels auf Nutzflächen, auf denen der Humusspiegel aktuell unter dem halben standorttyp. Wert gefallen ist.	Anmoorige und Moorböden
2	Minimierung der Bodenerosion	BB	Keine wendende BB	Flächen mit Hangneigung > 10 % auf gefährdeten Böden
3	Schutz terrestrischer Biotope vor Nährstoffausträgen aus Ackerflächen	Dg*	Reduktion N-Düngung auf 50 %	Grenzbereiche zu terrestrischen Biotopen: Je nach Austragungsrisiko (Geländeneigung, Bearbeitungsrichtung, Feldfrucht, Niederschlagssituation) 5–20 m
4	Schutz von Still- und Fließgewässern vor Nährstoffausträgen aus Ackerflächen	Dg	Reduktion N-Düngung auf 50 % Reduktion P-Düngung auf 50 %	Grenzbereiche zu Still- und Fließgewässern: Je nach Austragungsrisiko (Geländeneigung, Bearbeitungsrichtung, Feldfrucht, Niederschlagssituation) 5–20 m
5	Minimierung der negativen Effekte von PSM* auf den Nutzflächen	H*	Herbizideinsatz nur in spezifischen Arealen	Herde von Problemunkräutern, Bereiche hoher Verunkrautung (Überschreiten Schadensschwelle)
		I*	Insektizideinsatz nur in spezifischen Arealen	Bereich hohen Schadensbefalls (über Schadensschwelle)
6	Minimierung der negativen Effekte von PSM auf benachbarte Lebensräume und Landschaftsausschnitte	PSM	Kein Einsatz	Zone von 3 m von benachbarten Biotopen bei Windgeschwindigkeiten unter 1 m/s

Teil 2: Biotik/ Naturschutz

	Naturschutzqualitätsziele (NQZ)		Bewirtschaftungsmodus		Areale
7	Erhalt und Wiederherstellung von standörtlichen Unterschieden und Gradienten auf Ackerflächen		Dr*	Reduzierte Saatstärke	Ertragsschwache Standorte
			Dg	Reduziert	Bodensaure Standorte
			CaO*	Keine Kalkung	
8	Schutz von Amphibien auf Ackerflächen	8.1	Dg	Keine Anwendung von KAS*oder anderen amphibientoxischen Dg in der Zeit vom 15.2.–15.4.	Wanderungszonen: Ackerbereiche in der Luftlinienverbindung von Stillgewässern und Gehölzbereichen, sofern zw. Gewässer und Gehölz max. 300 m Abstand liegen
			CaO	Keine Kalkung zwischen 15.2.–15.4	
		8.2	PSM	Kein Einsatz	5-m-Randzone an Stillgewässern
			Dg	Keine N-Düngung	
9	Schutz von Säugetieren, die auf AF vorkommen		BB	Vermeidung BB Anfang bis Ende September (mind. 6 Wochen nach Getreideernte, regional unterschiedlich) oder Tiefe bis max. 25 cm	Bereiche mit bekannten Vorkommen des Hamsters
10	Erhalt der Nahrungshabitatfunktion von AF (heckenbrütende Vogelarten: Goldammer, Neuntöter)		H	Reduktion 0-50 % der empfohlenen Menge	Parallel zu Hecken bis zu 50 m in der AF
11	Schutz von auf AF brütenden Vogelarten (Feldlerche, Grauammer, Schafstelze)	11.1	PSM	Reduktion auf 0-50 % der empfohlenen Menge	Schläge < 10 ha, Streifen von 5–20 m Breite entlang der Ränder
		11.2			Schläge > 10ha, Streifen von 5–20m Breite, Polygone, Fenster im Schlag
12	Aufbau interner Biotop-Verbundsysteme auf Äckern		PSM	Reduktion auf 0-50 % der empfohlenen Menge	Auf Schlägen > 10 ha lineare Elemente von mind. 3 m Breite, möglichst an beiden Enden in räumlicher Nähe zu nicht landwirtschaftlich genutzten Flächen



	Naturschutzqualitätsziele (NQZ)			Bewirtschaftungsmodus	Areale
13	Schutz gefährdeter Ackerwildkrautarten		Dr	Reduktion der Saatstärke auf 10–50 %	sandige Standorte: Zonen mit (i) nutzbarer Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes (nFKWe) sehr gering – gering, daher nFK < 140 mm und (ii) Bodenart Sand, lehmiger Sand, schluffiger Sand oder toniger Sand kalkhaltige Standorte: Zonen mit pH-Werten > 7
			H	Reduktion auf 50–0 % der empfohlenen Menge	
14	Erhaltung und Förderung von Selbstregulationsprozessen auf AF durch Prädatoren und Parasitoide	14.1	H+I	Reduktion auf 50–0 % der empfohlenen Menge	Randzonen von bis zu 50 m Breite an Gehölzbereichen (Hecken, Waldränder, Baumreihen)
		14.2			Lineare Zonen durch AF (wie schlag-interner Biotopverbund)
		14.3			Kleinflächige Zonen (200–2000 m <sup>2</sup> ) innerhalb großer AF (>10 ha) mit mind. 50 m Randabstand
15	Erhaltung und Förderung blütenreicher Ackerbereiche	15.1	H	Reduktion auf 0–25 % der empfohlenen Menge	Zonen, die von Wegen aus gut gesehen werden können (ästhetischer Ressourcenschutz, Erholungsnutzung)
		15.2			Zonen in 100–500 m Entfernung von blütenreichen Biotopen (Trittsteinbiotope für blütenbesuchende Insekten)
16	Schaffung von Habitatvoraussetzungen für Feldlerchen			zielgerichtete Anlage Defektflächen (kleinflächige Areale ohne Kulturpflanzenbestand)	intensiv bewirtschaftete homogene dichte Wintergetreidebestände

\*BB: Bodenbearbeitung, Dg: Düngung, I: Insektizid, H: Herbizid, Dr: Drillen, CaO: Kalk, KAS: Kalkammonsalpeter (27 N, 4 MgO)

Tabelle 20. Zuordnung Naturschutzqualitätsziele zu Gruppen

	NQZ/Umweltwirkungen	Gruppen	
1	Erhaltung des bestehenden Humus- und Torfgehaltes in ursprünglich hydromorphen Böden	Bodenschutz	U M W E L T S C H U T Z
2	Minimierung der Bodenerosion		
3	Schutz terrestrischer Biotope vor Nährstoffausträgen aus Ackerflächen	Wasserschutz	
4	Schutz von Still- und Fließgewässern vor Nährstoffaus- trägen aus Ackerflächen		
5	Minimierung der negativen Effekte von PSM* auf den Nutzflächen	Chemische Verunreinigung	
6	Minimierung der negativen Effekt von PSM auf benach- barte Lebensräume und Landschaftsausschnitte		
7	Erhalt und Wiederherstellung von standörtlichen Unter- schieden und Gradienten auf Ackerflächen	Kulturlandschaft (allgemeiner Lebensraum)	N A T U R S C H U T Z
8	Schutz von Amphibien auf Ackerflächen	Biodiversität	
9	Schutz von Säugetieren, die auf AF vorkommen	Biodiversität	
10	Erhalt der Nahrungshabitatfunktion von AF	Habitat	
11	Schutz von auf AF brütenden Vogelarten	Biodiversität	
12	Aufbau interner Biotop-Verbundsysteme auf Äckern	Biotopvernetzung	
13	Schutz gefährdeter Ackerwildkrautarten	Biodiversität	
14	Erhaltung und Förderung von Selbstregulationsprozessen auf AF durch Prädatoren und Parasitoide	ökosystemare Prozesse	
15	Erhaltung und Förderung blütenreicher Ackerbereiche	Biodiversität	
16	Ansiedlung Feldlerche	Biodiversität	

Tabelle 21. Expertise der Umweltwirkungen von Precision Farming, Fallstudie Wulfen 2005–2007

Wie hoch ist die Erreichung der einzelnen NQZ gewichtet über 5 Stufen von Zielerreichungsgraden (ZEG) auf Schlag 231, 631 (2005–2006) und 221 (2007) **mit PF** und **ohne PF**?

NQZ	Beschreibung der Naturschutzqualitätsziele (NQZ) des Precision Farming*			Zielerreichungsgrad (ZEG)					
				Mit PF			Ohne PF		
				Schlag 231	Schlag 631	Schlag 221	Schlag 231	Schlag 631	Schlag 221
1	Erhaltung des bestehenden Humus- und Torfgehaltes in ursprünglich hydromorphen Böden			-	-	-	-	-	-
2	Minimierung der Bodenerosion			/	/	/	/	/	/
3	Schutz terrestrischer Biotope vor Nährstoffausträgen aus Ackerflächen			/	/	/	/	/	/
4	Schutz von Still- und Fließgewässern vor Nährstoffausträgen aus Ackerflächen			-	-	-	-	-	-
5	Minimierung der negativen Effekte von PSM <sup>a</sup> auf den Nutzflächen	5.1	Herbizid	-	-	1	-	-	0,5
		5.2	Insektizid	-	-	2	-	-	0,5
6	Minimierung der negativen Effekt von PSM auf benachbarte Lebensräume und Landschaftsausschnitte			4	4	4	3	3	3
7	Erhalt und Wiederherstellung von standörtlichen Unterschieden und Gradienten auf Ackerflächen			2	4	1	1	2	1
8	Schutz von Amphibien auf Ackerflächen	8.1	in Wanderungszone	-	-	-	-	-	-
		8.2	an Rändern	-	-	-	-	-	-
9	Schutz von Säugetieren, die auf AF vorkommen			-	-	-	-	-	-
10	Erhalt der Nahrungshabitatfunktion von AF			2	3	2	1	2	1

11	Schutz von auf AF brütenden Vogelarten	11.1	an Rändern	-	-	-	-	-	-
		11.2	Fenster im Feld	2	3	1	2	3	1
12	Aufbau interner Biotop-Verbundsysteme auf Äckern			1	2	1,5	0	1	1
13	Schutz gefährdeter Ackerwildkrautarten <sup>b</sup>			0	3 <sup>a</sup>	0	0	1 <sup>a</sup>	0
14	Erhaltung und Förderung von Selbstregulationsprozessen auf AF durch Prädatoren und Parasitoide	14.1	an Rändern	2	3	2	1	1	1
		14.2	Lineare Zonen durch AF	2	3	2	1	1	1
		14.3	Zonen in AF	2	3	2	1	1	1
15	Erhaltung und Förderung blütenreicher Ackerbereiche	15.1	Zonen, von Wegen sichtbar (Rand, Kuppe in AF)	2	3	2	0	0	1
		15.2	Zonen in AF	2	3	2	0	0	1
16	Schaffung von Habitatvoraussetzungen für Feldlerchen	16.1	Erstbrut	4	4	5	2	3	4
		16.2	Zweitbrut	4	4	4	2	3	1

\* nach PLACHTER und JANBEN 2004, S. 175 ff.; BERGER und JÖRNS 2007

<sup>a</sup> da sandige Standorte vorhanden

<sup>b</sup> Ackerwildkrautuntersuchung/Vegetationsuntersuchungen von TP 4 ist in Aussagen mit berücksichtigt

Die Bewertung der Erreichbarkeit der NQZ mit und ohne Einsatz von Precision Farming in Tabelle 2 erfolgte anhand folgender *Zielerreichungsgrade* (ZEG):

- 0 nicht erreicht, keine Wirkung
- 1 gering
- 2 mäßig
- 3 mittel
- 4 hoch
- 5 sehr hohe Erreichung des jeweiligen Naturschutzqualitätszieles
- / keine Aussage möglich
  - nicht relevant

Bemerkungen zu Tabelle 21 zu NQZ (BERGER UND JÖRNS 2007):

NQZ 6: hoher gesetzlicher Schutz schon gegeben (ohne Precision Farming) durch hohe Auflagen zur PSM-Anwendung

NQZ 7: 631 heterogener: hohes Potenzial für Gradienten, 2-Wege-Gradienten zu schaffen: Verzicht auf Anwendung(1); gezielt wieder herstellen (2) (standörtliches Potenzial hoch, Effekt über Management kann daher auch höher sein)

231 homogener: man kann über Management (Precision Farming) mäßiges Potenzial für Gradienten erreichen (standörtliches Potenzial (Heterogenität) ist gering = potenzieller Gradient ist gering, über Management daher nur mäßiger Effekt zur Einstellung eines Gradienten)

NQZ 10: Goldammer (50 m in Schlag rein), Neuntöter (20 m in Schlag rein)

631: Hecke vorhanden (Waldrand), Goldammer + Neuntöter potenziell anzutreffen

231: Hecke vorhanden, beste Böden benachbart, Goldammer potenziell anzutreffen

NQZ 11: Reduktion PSM 50 % → dichtere Bestände (Unkräuter können sich besser entwickeln wie z. B. Gänsefuß (*Chenopodium album*)), Vögel brauchen aber Lücken

Bewertung bzgl. Vorkommen von Goldammer, Feldlerche, Schafstelze. Dazu muss 1. Vegetationsstruktur stimmen und 2. das Nahrungsangebot vorhanden sein.

631 ist günstiger, da heterogener

Wenn als Maßnahme nur PSM um 50 % reduziert wird, bedeutet es nicht, dass ein für Vögel günstiger Bestand entsteht. Meist setzen sich die Problemunkräuter aufgrund der guten Nährstoffversorgung durch und es entstehen dichtere Bestände, Bspw. mit *Chenopodium album*, *Galium aparine*, *Fallopia convolvulus*

NQZ 12: Entfernungen spielen auf so großen Schlägen keine Rolle mehr. Hier geht es mehr um die Schaffung eines bestimmten Mikroklimas. Sind folglich auf Schlägen die entsprechenden Durchdringungseigenschaften vorhanden?

Arten neben Acker sind relevant

NQZ 15: großes Potenzial

Tabelle 22. Quantifizierung der indirekten Wirkungen, Wulfen-Studie 2005/06

NQZ	Beschreibung der Wirkung	Studienwert (study site)			Mehrwert PF $\Delta$ ZEG in Expertise 2005/06	Quantifizierung für Nutzen-Kosten-Analyse des PF			Quelle
						Benefit Transfer (policy site)			
		Beschreibung	Min	Max			Berechnung <sup>a)</sup>	Min in €/ha	
Kosten									
		Keine Kosten Umweltwirkungen identifiziert							
	Summe Kosten Umweltwirkungen					€/ha	0,00	0,00	
Nutzen									
6	Minimierung neg. Effekte von PSM* auf benachbarte Lebensräume und Landschaftsaus-schnitte	Prämienhöhe AUM*: VNP/EA* 2008-2012. Biotoptyp Acker /Zusatzleistung 0.2 Verzicht auf Mineral-dünger, organische Düngemittel und chem. Pflanzenschutz		260,00 €/ha	1,0	AV <sup>a)</sup> : (260,00 €/ha/6 $\Delta$ ZEG) x 1,0 $\Delta$ ZEG= 43,33 €/ha		43,33	BAYERISCHES STAATSMINIS-TERIUM FÜR LANDWIRT-SCHAFT UND FORSTEN (2008)
		Prämienhöhe AUM: Verbesserungsvorschläge des Vertragsnaturschutzes im Warmenau-Projekt. Vor-schlag AF*: Verzicht auf chemisch-synthetische PSM und integriert kontrol-lierte Wirtschaftseise (Prämienhöhe orientiert sich an real anzutreffenden Zahlungen in „anderen Bundesländern“)	250,00 DM/ha= 127,83 €/ha			AV: (127,83 €/ha/6 $\Delta$ ZEG) x 1,0 $\Delta$ ZEG= 21,305 €/ha	21,31		NOTTMEYER-LINDEN et al. (2000)

NQZ	Beschreibung der Wirkung	Studienwert (study site)			Mehrwert PF $\Delta$ ZEG in Expertise 2005/06	Quantifizierung für Nutzen-Kosten-Analyse des PF			Erläuterungen/Quelle
		Benefit Transfer (policy site)							
		Beschreibung	Min	Max		Berechnung	Min in €/ha	Max in €/ha	
7	Erhalt der Kulturlandschaft	CVM-Studie: Erhaltung des derzeitigen Landschaftsbildes Allgäu/Kraichgau. Ø ZB* aller befragten Hh*, n = 233/222	Kraichgau: 11,87 DM/Hh/Jahr= 6,07 €/Jahr/Hh	Allgäu: 24,09 DM/Hh/Jahr= 12,32 €/Jahr/Hh	1,5	Umrechnung Min in €/ha: 6,07 €/Hh x 37.281.000Hh (1996)= 226.295.670 €/ 11.832.000 ha AF (1996) = 19,13 €/ha AV <sup>a)</sup> Min: (19,13 €/ha/ 6 ΔZEG) x 1,5 ΔZEG = 4,78 €/ha  Umrechnung Max in €/ha: 12,32 €/ha x 37.281.000 Hh (1996 )= 459.3401.920€/ 11.832.000 ha AF (1996) = 38,82 €/ha AV Max: (38,82 €/ha/ 6 ΔZEG) x 1,5 ΔZEG= 9,70 €/ha	4,78	9,70	JUNG (1996), STAT. BUNDESAMT DEUTSCHLAND (2008), STAT. JAHRBUCH ÜBER ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (2005)
		CVM-Studie: Kulturlandschaft Baden-Württemberg. ZB bei zunehmendem Umfang der in ein Landschaftspflegeprogramm einzubeziehenden Fläche. ZB bei Brachfällen von 1/3, 2/3, 3/3 % der Fläche. Befragung 1995	1/3: 58 DM/Hh/Jahr = 29,65 €/Hh/Jahr	3/3: 67 DM/Hh/Jahr = 34,25 €/Hh/Jahr		Umrechnung Min in €/ha: 29,65 €/Hh x 36.938.000Hh (1995) = 1.095.211.700 €/ 11.835.000 ha AF (1995) = 92,54 €/ha AV: 23,13 €/ha  Umrechnung Max in €/ha: 34,25 €/Hh x 36.938.000 Hh (1995)= 1.265.126.5000 €/ 11.835.000 ha AF (1995)= 106,90 €/ha AV: 26,72 €/ha	23,13	26,72	KÄMMERER et al. (1996), STAT. BUNDESAMT DEUTSCHLAND (2008), STAT. JAHRBUCH ÜBER ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (2005)



NQZ	Beschreibung der Wirkung	Studienwert (study site)			Mehrwert PF  Δ ZEG in Expertise 2005/06	Quantifizierung für Nutzen-Kosten-Analyse des PF			Erläuterungen/Quelle
						Benefit Transfer (policy site)			
		Beschreibung	Min	Max			Berechnung	Min in €/ha	
10	Erhalt der Nah- rungshabitat- funktion von AF	Prämienhöhe AUM:  VNP/EA 2008-2012. Biotoptyp Acker/ Zusatzleistung 0.2 Verzicht auf Mineraldünger, organische Düngemittel und chem. Pflanzenschutz		260 €/ha	1,0	AV <sup>a)</sup> : (260,00 €/ha/6ΔZEG) x 1,0 ΔZEG= 43,33 €/ha		43,33	BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (2008)
		Prämienhöhe AUM:  Verbesserungsvorschläge des Vertragsnaturschutzes im Warmenau-Projekt. Vorschlag AF: Verzicht auf chemisch-synthetische PSM und integriert kontrollierte Wirtschaftsweise (Prämienhöhe orientiert sich an real anzutreffenden Zahlungen in „anderen Bundesländern“)	250,00 DM/ha= 127,83 €/ha			AV: (127,83 €/ha/6ΔZEG) x 1,0 ΔZEG= 21,305 €/ha	21,31		

NQZ	Beschreibung der Wirkung	Studienwert (study site)			Mehrwert PF  Δ ZEG in Expertise 2005/06	Quantifizierung für Nutzen-Kosten-Analyse des PF			Erläuterungen/Quelle
						Benefit Transfer (policy site)			
		Beschreibung	Min	Max			Berechnung	Min in €/ha	
12	Aufbau interner Biotop-Verbundsysteme auf Äckern	Prämienhöhe AUM: VNP/EA. Siehe NQZ 10		260 €/ha	1,0	AV: (260,00 €/ha/6ΔZEG) x 1,0 ΔZEG = 43,33 €/ha		43,33	BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (2008)
		Prämienhöhe AUM: Verbesserungsvorschläge des Vertragsnaturschutzes im Warmenau-Projekt. Siehe NQZ 10	250,00 DM/h = 127,83 €/ha			AV: (127,83 €/ha/6ΔZEG) x 1,0 ΔZEG = 21,305 €/ha	21,31		NOTTMEYER-LINDEN et al. (2000)
13	Schutz gefährdeter Ackerwildkrautarten	CVM-Studie Berlin/Rügen:  10 % aller Ackerstandorte in D würden so angepasst, dass sich Ackerwildkrautflora entwickeln kann. Standorte gleichmäßig in D verteilt. Zahlungsinstrument ist Jahresbeitrag in Naturschutzfond, über den Landwirte für entstehende Verluste entschädigt werden können. Ø ZB*, n = 517/150, Befragung 2003	ZB* aller Befragten Berlin: 19,29 €/Hh	ZB aller Befragten Rügen: 44,45 €/Hh	1,0	Umrechnung Min in €/ha: 19,29 €/Hh* x 38.944.000 Hh (2003) = 751.229.760 €/ 11.827.000 ha AF (2003) = 63,52 €/ha  AV: 10,59 €/ha  Umrechnung Max in €/ha: 44,45 €/Hh x 38.944.000 Hh (2003)= 1.731.060.800 €/ 11.827.000 ha AF (2003) = 146,37 €/ha  AV: 24,39 €/ha	10,59	24,39	KARKOW (S. 86,67 2003), STAT. BUNDESAMT DEUTSCHLAND (2008), STAT. JAHRBUCH ÜBER ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (2005)

NQZ*	Beschreibung der Wirkung	Studienwert (study site)			Mehrwert PF $\Delta$ ZEG* in Expertise 2005/06	Quantifizierung für Nutzen-Kosten-Analyse des PF			Erläuterungen/Quelle
						Benefit Transfer (policy site)			
		Beschreibung	Min	Max		Berechnung	Min in €/ha	Max in €/ha	
14	Erhaltung und Förderung von Selbstregulationsprozessen auf AF durch Prädatoren und Parasitoiden	Prämienhöhe AUM: VNP/EA. Siehe NQZ 10		260 €/ha	1,5	AV: (260,00 €/ha/6 $\Delta$ ZEG) x 1,5 $\Delta$ ZEG = 64,70 €/ha		64,70	BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (2008)
		Prämienhöhe AUM: Verbesserungsvorschläge des Vertragsnaturschutzes im Warmanau-Projekt (siehe NQZ 10)	250,00 DM/ha= 127,83 €/ha			AV: (127,83 €/ha/6 $\Delta$ ZEG) x 1,5 $\Delta$ ZEG = 31,96 €/ha	31,96		NOTTMEYER-LINDEN et al. (2000)
15	Erhaltung und Förderung blütenreicher Ackerbereiche	CVM-Studie Berlin/Rügen: Siehe NQZ 13. Ist mit Berücksichtigung NQZ 13 teilweise abgedeckt! Allerdings sind blütenreiche Standorte nicht gleich gefährdete Ackerwildkräuter! <sup>b)</sup>	ZB aller Befragten Berlin: 19,29 €/Hh	ZB aller Befragten Rügen: 44,45 €/Hh	1,5 <sup>b)</sup>	Umrechnung Min in €/ha siehe NQZ 13 = 63,52 €/ha AV: 15,88€/ha Umrechnung Max in €/ha siehe NQZ 13 = 146,37 €/ha AV: 36,59 €/ha	15,88	36,59	KARKOW (2003), STAT. BUNDESAMT DEUTSCHLAND (2008), STAT. JAHRBUCH ÜBER ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (2005)
16	Schaffung von Habitatvoraussetzungen für Feldlerchen	Prämienhöhe AUM: VNP/EA 2008/2012. Biototyp Acker/ Grundleistung 1.1 Extensive Ackernutzung für Feldbrüter und Ackerwildkräuter-G11	150 €/ha	350 €/ha	1,5	AV Min: (150 €/ha/6 $\Delta$ ZEG) x 1,5 $\Delta$ ZEG= 37,5 €/ha AV Max: (350 €/ha/6 $\Delta$ ZEG) x 1,5 $\Delta$ ZEG = 87,50 €/ha	37,50	87,50	BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (2008)
	<sup>a)</sup> AV: adjusted value: Studienwert/6* x $\Delta$ ZEG *6-stufige Bewertungsskala der ZEG = 0–5		<sup>b)</sup> $\Delta$ ZEG wird hier aus der Differenz $\Delta$ ZEG von NQZ 13 und $\Delta$ ZEG von NQZ 15 berechnet, d. h. 2,5–1,0 = 1,5		*NQZ: Naturschutzqualitätsziele, ZEG: Zielerreichungsgrad, PSM: Pflanzenschutzmittel, AUM: Agrarumweltmaßnahme, VNP/EA: Bayerisches Vertragsnaturschutzprogramm, AF: Ackerflächen, ZB: Zahlungsbereitschaft, Hh: Haushalte				

Beschreibung	Umweltwirkung in Summe Nutzen indirekt bewertet, NQZ	Indirekter Nutzen in €/ha		Erläuterungen	Bewertung indirekter Nutzen
		Min in €/ha	Max in €/ha		
<b>Summe Nutzen Umweltwirkungen Stufe I</b>	13+15	26,47	60,98	Stufe I: Studie aktuell/gut und passt gut auf NQZ	sicher
<b>Summe Nutzen Umweltwirkungen Stufe II</b>	(13+15) +7	31,25	87,70	Stufe II: Zusätzliche Studie (NQZ 7) nicht mehr so aktuell und nicht so einfach auf NQZ übertragbar	relativ sicher
<b>Summe Nutzen Umweltwirkungen Stufe III</b>	(13+15+7)+16	68,75	175,20	Stufe III: Zusätzliche Bewertung (NQZ 16) passt gut auf NQZ, aber da AUM jetzt Methodenmix (CVM + AUM)	nicht mehr so sicher (methodisch „sauber“)
<b>Summe Nutzen Umweltwirkungen Stufe IV</b>	(13+15+7+16)+5+6+10+12+14	164,64	369,89	Stufe IV: Zusätzliche Bewertung und Studien (NQZ 5,6,10,12,14) passen im Großteil nur über Bewirtschaftungsmodus auf NQZ, zusätzlich Methodenmix CVM+AUM	relativ unsicher
<b>Summe Kosten Umweltwirkungen</b>	€/ha	0,00	0,00		
<b>Nettonutzen indirekt I (Umweltwirkung)</b>	€/ha	26,47	60,98		
<b>Nettonutzen indirekt II (Umweltwirkung)</b>	€/ha	31,25	87,70		
<b>Nettonutzen indirekt III (Umweltwirkung)</b>	€/ha	68,75	175,20		
<b>Nettonutzen indirekt IV (Umweltwirkung)</b>	€/ha	164,64	369,89		

Tabelle 23. Quantifizierung der indirekten Wirkungen, Wulfen-Studie 2007

NQZ	Beschreibung der Wirkung	Studienwert (study site)			Mehrwert PF  Δ ZEG in Expertise 2007	Quantifizierung für Nutzen-Kosten-Analyse des PF			Quelle
						Benefit Transfer (policy site)			
		Beschreibung	Min	Max		Berechnung <sup>a)</sup>	Min in €/ha	Max in €/ha	
Kosten									
		Keine Kosten Umweltwirkungen identifiziert							
	Summe Kosten Umweltwirkungen					€/ha	0,00	0,00	
Nutzen									
5	Minimierung neg. Effekte von PSM* auf Nutzflächen	Prämienhöhe AUM*: VNP/EA* 2008–2012. Biotoptyp Acker /Zusatzleistung 0.2 Verzicht auf Mineraldünger, organische Düngemittel und chem. Pflanzenschutz		260,00 €/ha	1,0 <sup>a)</sup>	AV <sup>b)</sup> : (260,00 €/ha/6ΔZE G) x 1,0 ΔZEG = 43,33 €/ha		43,33	BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (2008)
		Prämienhöhe AUM: Verbesserungsvorschläge des Vertragsnaturschutzes im Warmenau-Projekt. Vorschlag AF*: Verzicht auf chemisch-synthetische PSM und integriert kontrollierte Wirtschaftseise (Prämienhöhe orientiert sich an real anzutreffenden Zahlungen in „anderen Bundesländern“)	250,00 DM/ha = 127,83 €/ha			AV: (127,83 €/ha/6ΔZE G) x 1,0 ΔZEG = 21,305 €/ha	21,31		NOTTMEYER-LINDEN et al. (2000)

NQZ*	Beschreibung der Wirkung	Studienwert (study site)			Mehrwert PF  Δ ZEG* in Expertise 2007	Quantifizierung für Nutzen-Kosten-Analyse des PF			Erläuterungen/Quelle
						Benefit Transfer (policy site)			
		Beschreibung	Min	Max			Berechnung	Min in €/ha	
6	Minimierung neg. Effekte von PSM auf benachbarte Lebensräume und Landschaftsausschnitte	Prämienhöhe AUM:  VNP/EA 2008-2012. Biotoptyp Acker /Zusatzleistung 0.2 Verzicht auf Mineraldünger, organische Düngemittel und chem. Pflanzenschutz		260,00 €/ha	0,5	AV: (260,00 €/ha/6ΔZ EG) x 0,5 ΔZEG = 21,67 €/ha		21,67	BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (2008)
		Prämienhöhe AUM:  Verbesserungsvorschläge des Vertragsnaturschutzes im Warmenau-Projekt. Vorschlag AF: Verzicht auf chemisch-synthetische PSM und integriert kontrollierte Wirtschaftseise (Prämienhöhe orientiert sich an real anzutreffenden Zahlungen in „anderen Bundesländern“)	250,00 DM/ha = 127,83 €/ha			AV: (127,83 €/ha/6ΔZ EG) x 0,5 ΔZEG = 10,65 €/ha	10,65		NOTTMEYER-LINDEN et al. (2000)
7	Erhalt der Kulturlandschaft				0,0		0,00	0,00	
10	Erhalt der Nahrungshabitatfunktion von AF	Prämienhöhe AUM:  VNP/EA 2008–2012. Biotoptyp Acker/Zusatzleistung 0.2 Verzicht auf Mineraldünger, organische Düngemittel und chem. Pflanzenschutz		260 €/ha	1,0	AV: (260,00 €/ha/6ΔZ EG) x 1,0 ΔZEG = 43,33 €/ha		43,33	BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (2008)
		Prämienhöhe AUM:  Verbesserungsvorschläge des Vertragsnaturschutzes im Warmenau-Projekt. Siehe NQZ 6	250,00 DM/ha = 127,83 €/ha			AV: (127,83 €/ha/6ΔZ EG) x 1,0 ΔZEG = 21,305 €/ha	21,31		NOTTMEYER-LINDEN et al. (2000)

NQZ	Beschreibung der Wirkung	Studienwert (study site)			Mehrwert PF $\Delta$ ZEG in Expertise 2007	Quantifizierung für Nutzen-Kosten-Analyse des PF			Erläuterungen/Quelle
						Benefit Transfer (policy site)			
		Beschreibung	Min	Max			Berechnung	Min in €/ha	
14	Erhaltung und Förderung von Selbstregulationsprozessen auf AF durch Prädatoren und Parasitoide	<b>Prämienhöhe AUM:</b> VNP/EA. Siehe NQZ 10		260 €/ha	1,0	AV: (260,00 €/ha/6 $\Delta$ ZEG) x 1,0 $\Delta$ ZEG = 43,33 €/ha		43,33	BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (2008)
		<b>Prämienhöhe AUM:</b> Verbesserungsvorschläge des Vertragsnaturschutzes im Warmenau-Projekt. Siehe NQZ 10	250,00 DM/ha= 127,83 €/ha			AV: (127,83 €/ha/6 $\Delta$ ZEG) x 1,0 $\Delta$ ZEG = 21,31 €/ha	21,31		NOTTMEYER-LINDEN et al. (2000)
15	Erhaltung und Förderung blütenreicher Ackerbereiche	<b>CVM-Studie Berlin/Rügen:</b> Siehe NQZ 13. Ist mit Berücksichtigung NQZ 13 teilweise abgedeckt! Allerdings sind blütenreiche Standorte nicht gleich gefährdete Ackerwildkräuter! <sup>c)</sup>	ZB aller Befragten Berlin: 19,29 €/Hh	ZB aller Befragten Rügen: 44,45 €/Hh	1,0 <sup>e)</sup>	<b>Umrechnung Min</b> in €/ha: 19,29 €/Hh* x 38.944.000 Hh (2003) = 751.229.760 €/ 11.827.000 ha AF (2003) = 63,52 €/ha AV: 10,59 €/ha <b>Umrechnung Max</b> in €/ha: 44,45 €/Hh x 38.944.000 Hh (2003) = 1.731.060.800 €/ 11.827.000 ha AF (2003)= 146,37 €/ha AV: 24,39 €/ha	10,59	24,39	KARKOW ( 2003), STAT. BUNDESAMT DEUTSCHLAND (2008), STAT. JAHRBUCH ÜBER ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (2005)
16	Schaffung von Habitatvoraussetzungen für Feldlerchen	<b>Prämienhöhe AUM:</b> VNP/EA 2008–2012. Biotoptyp Acker/ Grundleistung 1.1 Extensive Ackernutzung für Feldbrüter und Ackerwildkräuter-G11	150 €/ha	350 €/ha	2,0 <sup>d)</sup>	AV Min: (150 €/ha/6 $\Delta$ ZEG) x 2,0 $\Delta$ ZEG= 50,00 €/ha AV Max: (350 €/ha/6 $\Delta$ ZEG) x 2,0 $\Delta$ ZEG = 116,67 €/ha	50,00	116,67	BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (2008)

Beschreibung	Umweltwirkung in Summe Nutzen indirekt bewertet, NQZ	Indirekter Nutzen in €/ha		Erläuterungen	Bewertung indirekter Nutzen
		Min in €/ha	Max in €/ha		
Summe Nutzen Umweltwirkungen Stufe I	13+15	10,59	24,39	Stufe I: Studie aktuell/gut und passt gut auf NQZ	sicher
Summe Nutzen Umweltwirkungen Stufe II	(13+15) +7	10,59	24,39	Stufe II: Zusätzliche Studie (NQZ 7) nicht mehr so aktuell und nicht so einfach auf NQZ übertragbar	relativ sicher
Summe Nutzen Umweltwirkungen Stufe III	(13+15+7)+16	60,59	141,07	Stufe III: Zusätzliche Bewertung (NQZ 16) passt gut auf NQZ, aber da AUM jetzt Methodenmix (CVM + AUM)	nicht mehr so sicher (methodisch „sauber“)
Summe Nutzen Umweltwirkungen Stufe IV	(13+15+7+16)+5+6+10+12+14	145,82	314,40	Stufe IV: Zusätzliche Bewertung und Studien (NQZ 5,6,10,12,14) passen im Großteil nur über Bewirtschaftungsmodus auf NQZ, zusätzlich Methodenmix CVM+AUM	relativ unsicher
Summe Kosten Umweltwirkungen	€/ha	0,00	0,00		
Nettonutzen indirekt I	€/ha	10,59	24,39		
Nettonutzen indirekt II	€/ha	10,59	24,39		
Nettonutzen indirekt III	€/ha	60,59	141,07		
Nettonutzen indirekt IV	€/ha	145,82	314,40		
a) Mittelwert aus ΔZEG 5.1 und 5.2, siehe auch Tabelle 6, Kapitel 3	b) AV: adjusted value: Studienwert/6* x Δ ZEG *6-stufige Bewertungsskala der ZEG = 0-5	c) ΔZEG wird hier aus der Differenz ΔZEG von NQZ 13 und ΔZEG von NQZ 15 berechnet, d. h. 1,0-0= 1,0		d) Mittelwert aus ΔZEG 16.1 und 16.2, siehe auch Tabelle 9, Kapitel 3	* NQZ: Naturschutzqualitätsziele, ZEG: Zielerreichungsgrad, PSM: Pflanzenschutzmittel, AUM: Agrarumweltmaßnahme, VNP/EA: Bayerisches Vertragsnaturschutzprogramm, AF: Ackerflächen, ZB: Zahlungsbereitschaft, Hh: Haushalte



Tabelle 24. Berechnung Sensitivität 1–3 bzgl. Produktpreis Weizen für Nutzen direkt

W u l f e n – S t u d i e	Precision-Farming-Strategie					
	2005 (Schlag 432)		2006 (Schlag 411)		2007 (Schlag 432)	
	Sensor	Karte	Sensor	Karte	Sensor	Karte
Einsparung an Betriebsmitteln: N <sup>1</sup> in kg/ha	63,00	32,00	16,00	-20,00	22,00	18,00
Einsparung N Kosten in €/ha	26,8	0,8	42,70	-10,20	5,80	8,40
Ertragssteigerung in t/ha	0,08	0,18	-0,36	-0,42	0,03	-0,29
Produktpreis Weizen	90 €/t		115 €/t		150 €/t	
Marktleistungssteigerung in €/ha	7,20	16,20	-41,40	-48,30	4,50	-43,50
<b>Nutzen direkt in €/ha</b>	<b>34,00</b>	<b>17,00</b>	<b>1,30</b>	<b>-58,50</b>	<b>10,30</b>	<b>-35,10</b>
<b>S e n s i t i v i t ä t</b>						
<b>Sensitivität 1: Preis_schlecht<sup>2</sup></b>	45 €/t		57,5 €/t		75 €/t	
Marktleistungssteigerung in €/ha	3,60	8,10	-20,5	-24,15	2,25	-21,75
<b>Nutzen direkt Sensitivität 1 in €/ha</b>	<b>30,4</b>	<b>9,70</b>	<b>22,20</b>	<b>-34,35</b>	<b>8,05</b>	<b>-13,35</b>
<b>Sensitivität 2: Preis_normal<sup>3</sup></b>	108 €/t		138 €/t		180 €/t	
Marktleistungssteigerung in €/ha	8,64	19,44	-49,68	-57,96	5,40	-52,2
<b>Nutzen direkt Sensitivität 2 in €/ha</b>	<b>35,44</b>	<b>20,24</b>	<b>-6,98</b>	<b>-68,16</b>	<b>11,20</b>	<b>-43,8</b>
<b>Sensitivität 3: Preis_gut<sup>4</sup></b>	135 €/t		172,5 €/t		225 €/t	
Marktleistungssteigerung in €/ha	10,80	24,30	-62,10	-72,45	6,75	-65,25
<b>Nutzen direkt Sensitivität 3 in €/ha</b>	<b>37,60</b>	<b>25,10</b>	<b>-19,40</b>	<b>-82,65</b>	<b>12,55</b>	<b>-56,85</b>

<sup>1</sup>N: Stickstoff<sup>2</sup>Sensitivität 1: schlechte Entwicklung, Annahme: Produktpreis -50 %<sup>3</sup>Sensitivität 2: normale Entwicklung, Annahme: Produktpreis +20 %<sup>4</sup>Sensitivität 3: gute Entwicklung, Annahme: Produktpreis +50 %

Tabelle 25. Berechnung Sensitivität 1<sup>1</sup> bzgl. Zahlungsbereitschaft für indirekten Nutzen

NQZ <sup>3</sup>	Beschreibung der Wirkung	Studienwert (original)			Sensitivität 1 <sup>1</sup>		Mehrwert PF	Quantifizierung für Nutzen-Kosten-Analyse des PF Sensitivität 1		
		Beschreibung	Min	Max	Höhe der ZB <sup>2</sup>		$\Delta$ ZEG <sup>4</sup> in Expertise 2005/06	Benefit Transfer Sensitivität 1	Min in €/ha	Max in €/ha
					Min	Max				
13	Schutz gefährdeter Ackerwildkrautarten	CVM-Studie Berlin/Rügen: siehe Tab 3a., Teil 4 im Anhang	ZB aller Befragten Berlin: 19,29 €/Hh	ZB aller Befragten Rügen: 44,45 €/Hh	9,645	22,23	1	Umrechnung <b>Umrechnung Min</b> in €/ha: 9,65 €/Hh x 38.944.000 Hh (2003) = 375.809.600 €/11.827.000 ha AF* (2003) = 31,78 €/ha, AV*: 31,78 €/ha/6x1ΔZEG = 5,26 €/ha; <b>Umrechnung Max</b> in €/ha: 22,23 €/Hh x 38.944.000 Hh (2003) = 865.725.120 €/11.827.000 ha AF (2003) = 73,20 €/ha, AV: 73,20 €/ha/6x1ΔZEG = 12,20 €/ha	5,26	12,20
15	Erhaltung und Förderung blütenreicher Ackerbereiche	CVM-Studie Berlin/Rügen: siehe Tab 3a., Teil 5 im Anhang	ZB aller Befragten Berlin: 19,29 €/Hh	ZB aller Befragten Rügen: 44,45 €/Hh	9,645	22,23	1,5	Umrechnung <b>Umrechnung Min</b> in €/ha: 9,65 €/Hh x 38.944.000Hh (2003) = 375.809.600€/11.827.000 ha AF* (2003) = 31,78 €/ha, AV*: 31,78 €/ha/6x1,5ΔZEG = 5,26 €/ha; <b>Umrechnung Max</b> in €/ha: 22,23 €/Hh x 38.944.000 Hh (2003) = 865.725.120 €/11.827.000 ha AF (2003) = 73,20 €/ha, AV: 73,20 €/ha/6x1ΔZEG = 12,20 €/ha	7,89	18,30
<b>Expertise 2007</b>							$\Delta$ ZEG			
13	siehe oben						0	0	0	0
15	siehe oben						1	Umrechnung <b>Umrechnung Min</b> in €/ha: 9,65 €/Hh x 38.944.000 Hh (2003) = 375.809.600 €/11.827.000 ha AF* (2003) = 31,78 €/ha, AV*: 31,78 €/ha/6x1ΔZEG = 5,26 €/ha; <b>Umrechnung Max</b> in €/ha: 22,23 €/Hh x 38.944.000 Hh (2003) = 865.725.120 €/11.827.000 ha AF (2003) = 73,20 €/ha, AV: 73,20 €/ha/6x1ΔZEG = 12,20 €/ha	5,26	12,20

<sup>1</sup> Sensitivität 1: schlechte Entwicklung, Annahme: ZB -50 %<sup>2</sup> ZB: Zahlungsbereitschaft<sup>3</sup> NQZ: Naturschutzqualitätsziel<sup>4</sup> ZEG: Zielerreichungsgrad

Tabelle 26. Berechnung Sensitivität 2<sup>1</sup> bzgl. Zahlungsbereitschaft für indirekten Nutzen

NQZ <sup>3</sup>	Beschreibung der Wirkung	Studienwert (original)			Sensitivität 2 <sup>1</sup>		Mehrwert PF	Quantifizierung für Nutzen-Kosten-Analyse des PF Sensitivität 2		
		Beschreibung	Min	Max	Höhe der ZB <sup>2</sup>		$\Delta$ ZEG <sup>4</sup> in Expertise 2005/06	Benefit Transfer Sensitivität 2	Min in €/ha	Max in €/ha
					Min	Max				
13	Schutz gefährdeter Ackerwildkrautarten	CVM-Studie Berlin/Rügen: siehe Tab 3a., Teil 4 im Anhang	ZB aller Befragten Berlin: 19,29 €/Hh	ZB aller Befragten Rügen: 44,45 €/Hh	23,15	53,34	1	Umrechnung <b>Umrechnung Min</b> in €/ha: 23,15 €/Hh x 38.944.000 Hh (2003) = 901.553.600 €/ 11.827.000 ha AF* (2003) = 76,23 €/ha, AV*: 76,23 €/ha/6x1 $\Delta$ ZEG= 12,70 €/ha; <b>Umrechnung Max</b> in €/ha: 53,34 €/Hh x 38.944.000 Hh (2003) = 2.077.272.960 €/ 11.827.000 ha AF (2003) = 175,64 €/ha, AV: 175,64 €/ha/6x1 $\Delta$ ZEG = 29,27 €/ha	12,7	29,97
15	Erhaltung und Förderung blütenreicher Ackerbereiche	CVM-Studie Berlin/Rügen: siehe Tab 3a., Teil 5 im Anhang	ZB aller Befragten Berlin: 19,29 €/Hh	ZB aller Befragten Rügen: 44,45 €/Hh	23,15	53,34	1,5	Umrechnung <b>Umrechnung Min</b> in €/ha: 23,15 €/Hh x 38.944.000 Hh (2003) = 901.553.600 €/ 11.827.000 ha AF* (2003) = 76,23 €/ha, AV*: 76,23 €/ha/6x1,5 $\Delta$ ZEG = 19,05 €/ha; <b>Umrechnung Max</b> in €/ha: 53,34 €/Hh x 38.944.000 Hh (2003) = 2.077.272.960 €/ 11.827.000 ha AF (2003) = 175,64 €/ha, AV: 175,64 €/ha/6x1,5 $\Delta$ ZEG = 43,90 €/ha	19,05	43,90
<b>Expertise 2007</b>							$\Delta$ ZEG			
13	siehe oben						0	0	0	0
15	siehe oben						1	Umrechnung <b>Umrechnung Min</b> in €/ha: 23,15 €/Hh x 38.944.000 Hh (2003) = 901.553.600 €/ 11.827.000 ha AF* (2003) = 76,23 €/ha, AV*: 76,23 €/ha/6x1 $\Delta$ ZEG= 12,70 €/ha; <b>Umrechnung Max</b> in €/ha: 53,34 €/Hh x 38.944.000 Hh (2003) = 2.077.272.960 €/ 11.827.000 ha AF (2003) = 175,64 €/ha, AV: 175,64 €/ha/6x1 $\Delta$ ZEG = 29,27 €/ha	12,07	29,27

<sup>1</sup> Sensitivität 2: normale Entwicklung, Annahme: ZB +20 %<sup>2</sup> ZB: Zahlungsbereitschaft<sup>3</sup> NQZ: Naturschutzqualitätsziel<sup>4</sup>  $\Delta$  ZEG: Zielerreichungsgrad

Tabelle 27. Berechnung Sensitivität 3<sup>1</sup> bzgl. Zahlungsbereitschaft für indirekten Nutzen

NQZ <sup>3</sup>	Beschreibung der Wirkung	Studienwert (original)			Sensitivität 3 <sup>1</sup>		Mehrwert PF	Quantifizierung für Nutzen-Kosten-Analyse des PF Sensitivität 3		
		Beschreibung			Höhe der ZB <sup>2</sup>		Δ ZEG <sup>4</sup> in Expertise 2005/06	Benefit Transfer Sensitivität 3		
					Min	Max		Umrechnung	Min in €/ha	Max in €/ha
13	Schutz gefährdeter Ackerwildkrautarten	CVM-Studie Berlin/Rügen: siehe Tab 3a., Teil 4 im Anhang	ZB aller Befragten Berlin: 19,29 €/Hh	ZB aller Befragten Rügen: 44,45 €/Hh	28,94	66,66	1	<b>Umrechnung Min</b> in €/ha: 28,94 €/Hh x 38.944.000 Hh (2003) = 1.127.039.360 €/ 11.827.000 ha AF* (2003) = 95,29 €/ha, AV*: 95,29 €/ha/6x1ΔZEG = 15,88 €/ha; <b>Umrechnung Max</b> in €/ha: 66,66 €/Hh x 38.944.000 Hh (2003) = 2.596.007.040 €/ 11.827.000 ha AF (2003) = 219,60€/ha, AV: 219,60 €/ha/6x1ΔZEG = 36,58 €/ha	15,88	36,58
15	Erhaltung und Förderung blütenreicher Ackerbereiche	CVM-Studie Berlin/Rügen: siehe Tab 3a., Teil 5 im Anhang	ZB aller Befragten Berlin: 19,29 €/Hh	ZB aller Befragten Rügen: 44,45 €/Hh	28,94	66,66	1,5	<b>Umrechnung Min</b> in €/ha: 28,94 €/Hh x 38.944.000 Hh (2003) = 1.127.039.360 €/ 11.827.000 ha AF (2003) = 95,29 €/ha, AV: 95,29 €/ha/6x1,5ΔZEG = 23,82 €/ha; <b>Umrechnung Max</b> in €/ha: 66,66 €/Hh x 38.944.000 Hh (2003) = 2.596.007.040 €/ 11.827.000 ha AF (2003) = 219,60 €/ha, AV: 219,60 €/ha/6x1,5ΔZEG = 54,90 €/ha	23,82	54,90
<b>Expertise 2007</b>							Δ ZEG			
13	siehe oben						0			
15	siehe oben						1	<b>Umrechnung Min</b> in €/ha: 28,94 €/Hh x 38.944.000Hh (2003) = 1.127.039.360€/ 11.827 ha AF (2003) = 95,29 €/ha, AV: 95,29 €/ha/6x1ΔZEG = 15,88 €/ha; <b>Umrechnung Max</b> in €/ha: 66,66 €/Hh x 38.944.000 Hh (2003) = 2.596.007.040 €/ 11.827.000 ha AF (2003) = 219,60€/ha, AV: 219,60 €/ha/6x1ΔZEG = 36,58 €/ha	15,88	36,58

<sup>1</sup> Sensitivität 3: gute Entwicklung, Annahme: ZB +50 %<sup>2</sup> ZB: Zahlungsbereitschaft<sup>3</sup> NQZ: Naturschutzqualitätsziel<sup>4</sup> Δ ZEG: Zielerreichungsgrad

Tabelle 28. Berechnung Nettonutzen/Verhältniskriterium des Precision Farming – Sensitivität 1<sup>1</sup> bzgl. Veränderung Produktpreis (Pp)

	2005		2006		2007	
	Min (Karte*)	Max (Sensor*)	Min (Karte*)	Max (Sensor*)	Min (Karte*)	Max (Sensor*)
Nutzen direkt <b>Sensitivität 1 (Pp)</b> in €/ha	9,70	30,40	-34,35	22,20	-13,35	8,05
Nutzen indirekt I <sup>2</sup> in €/ha (unverändert)	26,47	60,98	26,47	60,98	10,59	24,4
Nutzen indirekt IV <sup>2</sup> in €/ha (unverändert)	164,64	369,89	164,64	369,89	145,82	314,4
Summe Nutzen I <b>Sensitivität 1 Pp</b> in €/ha	36,17	91,38	-7,88	83,18	-2,76	32,45
Summe Nutzen IV <b>Sensitivität 1 Pp</b>	174,34	400,29	130,29	392,09	132,47	322,45
Summe Kosten in €/ha (unverändert)	5,33	4,49	5,33	4,49	5,33	4,49
<b>Nettonutzen I Sensitivität 1 Pp</b> in €/ha	<b>30,84</b>	<b>86,89</b>	<b>-13,21</b>	<b>78,69</b>	<b>-8,09</b>	<b>27,96</b>
<b>Nettonutzen IV Sensitivität 1 Pp</b>	<b>169,01</b>	<b>395,80</b>	<b>124,96</b>	<b>387,60</b>	<b>127,14</b>	<b>317,96</b>
<b>Verhältniskriterium I</b> (Nutzen/Kosten)	6,79	20,35	-1,48	18,53	-0,52	7,23
<b>Verhältniskriterium IV</b>	32,71	89,15	24,44	87,33	24,85	71,82

Tabelle 29. Berechnung Nettonutzen/Verhältniskriterium des Precision Farming – Sensitivität 2<sup>1</sup> bzgl. Veränderung Produktpreis (Pp)

	2005		2006		2007	
	Min (Karte*)	Max (Sensor*)	Min (Karte*)	Max (Sensor*)	Min (Karte*)	Max (Sensor*)
Nutzen direkt <b>Sensitivität 2 (Pp)</b> in €/ha	20,24	35,44	-68,16	-6,98	-43,8	11,2
Nutzen indirekt I <sup>2</sup> in €/ha (unverändert)	26,47	60,98	26,47	60,98	10,59	24,4
Nutzen indirekt IV <sup>2</sup> in €/ha (unverändert)	164,64	369,89	164,64	369,89	145,82	314,4
Summe Nutzen I <b>Sensitivität 2 Pp</b> in €/ha	46,71	96,42	-41,69	54,00	-33,21	35,60
Summe Nutzen IV <b>Sensitivität 2 Pp</b>	184,88	405,33	96,48	362,91	102,02	325,60
Summe Kosten in €/ha (unverändert)	5,33	4,49	5,33	4,49	5,33	4,49
<b>Nettonutzen I Sensitivität 2 Pp</b> in €/ha	<b>41,38</b>	<b>91,93</b>	<b>-47,02</b>	<b>49,51</b>	<b>-38,54</b>	<b>31,11</b>
<b>Nettonutzen IV Sensitivität 2 Pp</b>	<b>179,55</b>	<b>400,84</b>	<b>91,15</b>	<b>358,42</b>	<b>96,69</b>	<b>321,11</b>
<b>Verhältniskriterium I</b> (Nutzen/Kosten)	8,76	21,47	-7,82	12,03	-6,23	7,93
<b>Verhältniskriterium IV</b>	34,69	90,27	18,10	80,83	19,14	72,52

Tabelle 30. Berechnung Nettonutzen/Verhältniskriterium des Precision Farming – Sensitivität 3<sup>1</sup> bzgl. Veränderung Produktpreis (Pp)

	2005		2006		2007	
	Min (Karte*)	Max (Sensor*)	Min (Karte*)	Max (Sensor*)	Min (Karte*)	Max (Sensor*)
Nutzen direkt <b>Sensitivität 3 (Pp)</b> in €/ha	25,1	37,6	-82,65	-19,40	-56,85	12,55
Nutzen indirekt I <sup>2</sup> in €/ha (unverändert)	26,47	60,98	26,47	60,98	10,59	24,4
Nutzen indirekt IV <sup>2</sup> in €/ha (unverändert)	164,64	369,89	164,64	369,89	145,82	314,4
Summe Nutzen I <b>Sensitivität 3 Pp</b> in €/ha	<b>51,57</b>	<b>98,58</b>	<b>-56,18</b>	<b>41,58</b>	<b>-46,26</b>	<b>36,95</b>
Summe Nutzen IV <b>Sensitivität 3 Pp</b>	<b>189,74</b>	<b>407,49</b>	<b>81,99</b>	<b>350,49</b>	<b>88,97</b>	<b>326,95</b>
Summe Kosten in €/ha (unverändert)	5,33	4,49	5,33	4,49	5,33	4,49
<b>Nettonutzen I Sensitivität 3 Pp</b> in €/ha	<b>46,24</b>	<b>94,09</b>	<b>-61,51</b>	<b>37,09</b>	<b>-51,59</b>	<b>32,46</b>
<b>Nettonutzen IV Sensitivität 3 Pp</b>	<b>184,41</b>	<b>403,00</b>	<b>76,66</b>	<b>346,00</b>	<b>83,64</b>	<b>322,46</b>
<b>Verhältniskriterium I</b> (Nutzen/Kosten)	9,68	21,96	-10,54	9,26	-8,68	8,23
<b>Verhältniskriterium IV</b>	35,60	90,76	15,38	78,06	16,69	72,82

\*Precision Farming-Strategie

<sup>1</sup> Sensitivität 1: schlechte Entwicklung, Annahme: Produktpreis -50 %

Sensitivität 2: normale Entwicklung, Annahme: Produktpreis +20 %

Sensitivität 3: gute Entwicklung, Annahme: Produktpreis +50 %

<sup>2</sup> Bewertungsstufen I-IV:

I sehr sicher (NQZ 13+15)

II sicher (NQZ 7+13+15)

III relativ sicher (NQZ 7+13+15+16)

IV relativ unsicher (alle bewerteten NQZ), genauere Beschreibung siehe Tabelle 23

Tabelle 31. Berechnung Nettonutzen/Verhältniskriterium des Precision Farming – Sensitivität 1<sup>1</sup> bzgl. Veränderung Technikkosten (Tk)

	2005		2006		2007	
	Min (Karte*)	Max (Sensor*)	Min (Karte*)	Max (Sensor*)	Min (Karte*)	Max (Sensor*)
Nutzen I (direkt + indirekt) in €/ha (unverändert)	43,47	94,98	-32,03	62,28	-24,51	34,70
Nutzen IV (direkt + indirekt) (unverändert)	181,64	403,89	106,14	371,19	110,72	324,70
Kosten Sensitivität 1 (Tk) in €/ha	6,66	5,61	6,66	5,61	6,66	5,61
<b>Nettonutzen I Sensitivität 1 Tk in €/ha</b>	<b>36,81</b>	<b>89,37</b>	<b>-38,69</b>	<b>56,67</b>	<b>-31,17</b>	<b>29,09</b>
<b>Nettonutzen IV Sensitivität 1 Tk</b>	<b>174,98</b>	<b>398,28</b>	<b>99,48</b>	<b>365,58</b>	<b>104,06</b>	<b>319,09</b>
<b>Verhältniskriterium I (Nutzen/Kosten)</b>	6,53	16,93	-4,81	11,10	-3,68	6,19
<b>Verhältniskriterium IV</b>	27,27	71,99	15,94	66,17	16,62	57,88

Tabelle 32. Berechnung Nettonutzen/Verhältniskriterium des Precision Farming – Sensitivität 2<sup>1</sup> bzgl. Veränderung Technikkosten (Tk)

	2005		2006		2007	
	Min (Karte*)	Max (Sensor*)	Min (Karte*)	Max (Sensor*)	Min (Karte*)	Max (Sensor*)
Nutzen I (direkt + indirekt) in €/ha (unverändert)	43,47	94,98	-32,03	62,28	-24,51	34,70
Nutzen IV (direkt + indirekt) (unverändert)	181,64	403,89	106,14	371,19	110,72	324,70
Kosten Sensitivität 2 (Tk) in €/ha	5,28	4,42	5,28	4,42	5,28	4,42
<b>Nettonutzen I Sensitivität 2 Tk in €/ha</b>	<b>38,19</b>	<b>90,56</b>	<b>-37,31</b>	<b>57,86</b>	<b>-29,79</b>	<b>30,28</b>
<b>Nettonutzen IV Sensitivität 2 Tk</b>	<b>176,36</b>	<b>399,47</b>	<b>100,86</b>	<b>366,77</b>	<b>105,44</b>	<b>320,28</b>
<b>Verhältniskriterium I (Nutzen/Kosten)</b>	8,23	21,49	-6,07	14,09	-4,64	7,85
<b>Verhältniskriterium IV</b>	34,40	91,38	20,10	83,98	20,97	54,05



Tabelle 33. Berechnung Nettonutzen/Verhältniskriterium des Precision Farming – Sensitivität 3<sup>1</sup> bzgl. Veränderung Technikkosten (Tk)

	2005		2006		2007	
	Min (Karte*)	Max (Sensor*)	Min (Karte*)	Max (Sensor*)	Min (Karte*)	Max (Sensor*)
Nutzen I (direkt + indirekt) in €/ha (unverändert)	43,47	94,98	-32,03	62,28	-24,51	34,70
Nutzen IV (direkt + indirekt) (unverändert)	181,64	403,89	106,14	371,19	110,72	324,70
Kosten Sensitivität 3 (Tk) in €/ha	3,98	3,37	3,98	3,37	3,98	3,37
<b>Nettonutzen I Sensitivität 3 Tk in €/ha</b>	<b>39,47</b>	<b>91,61</b>	<b>-36,03</b>	<b>58,91</b>	<b>-28,51</b>	<b>31,33</b>
<b>Nettonutzen IV Sensitivität 3 Tk</b>	<b>177,64</b>	<b>400,52</b>	<b>102,14</b>	<b>367,82</b>	<b>106,72</b>	<b>321,33</b>
<b>Verhältniskriterium I (Nutzen/Kosten)</b>	10,88	28,18	-8,01	18,48	-6,13	10,30
<b>Verhältniskriterium IV</b>	45,44	119,85	26,55	110,15	27,70	96,35

\*Precision Farming-Strategie

<sup>1</sup> Sensitivität 1: schlechte Entwicklung, Annahme: Technikkosten +25 %

Sensitivität 2: normale Entwicklung, Annahme: Technikkosten -1,5 %

Sensitivität 3: gute Entwicklung, Annahme: Technikkosten -25 %

<sup>2</sup> Bewertungsstufen I-IV:

I sehr sicher (NQZ 13+15)

II sicher (NQZ 7+13+15)

III relativ sicher (NQZ 7+13+15+16)

IV relativ unsicher (alle bewerteten NQZ), genauere Beschreibung siehe Anhang Tabelle 23

Tabelle 34. Berechnung Nettonutzen/Verhältniskriterium des Precision Farming – Sensitivität 1<sup>1</sup> bzgl. Veränderung Zahlungsbereitschaft (ZB)

	2005		2006		2007	
	Min (Karte*)	Max (Sensor*)	Min (Karte*)	Max (Sensor*)	Min (Karte*)	Max (Sensor*)
Nutzen direkt in €/ha (unverändert)	17,00	34,00	-58,50	1,30	-35,10	10,30
Nutzen indirekt I <sup>2</sup> <b>Sensitivität 1 (ZB)</b> in €/ha	13,15	30,50	13,15	30,50	5,26	12,20
Nutzen indirekt IV <sup>2</sup> <b>Sensitivität 1 (ZB)</b> in €/ha	151,79	369,91	151,79	369,91	140,49	302,21
Summe Nutzen I <b>Sensitivität 1 ZB</b> in €/ha	47,15	47,50	14,45	-28,00	15,56	-22,90
Summe Nutzen IV <b>Sensitivität 1 ZB</b>	185,79	386,91	153,09	311,41	150,79	267,11
Summe Kosten in €/ha (unverändert)	5,33	4,49	5,33	4,49	5,33	4,49
<b>Nettonutzen I Sensitivität 1 ZB in €/ha</b>	<b>24,82</b>	<b>60,01</b>	<b>-50,68</b>	<b>27,31</b>	<b>-35,17</b>	<b>18,01</b>
<b>Nettonutzen IV Sensitivität 1 ZB</b>	<b>163,46</b>	<b>399,42</b>	<b>87,96</b>	<b>366,72</b>	<b>100,06</b>	<b>308,02</b>
<b>Verhältniskriterium I (Nutzen/Kosten)</b>	5,66	14,37	-8,51	7,08	-5,06	5,01
<b>Verhältniskriterium IV</b>	31,67	89,96	17,50	82,67	19,77	69,90

Tabelle 35. Berechnung Nettonutzen/Verhältniskriterium des Precision Farming – Sensitivität 2<sup>1</sup> bzgl. Veränderung Zahlungsbereitschaft (ZB)

	2005		2006		2007	
	Min (Karte*)	Max (Sensor*)	Min (Karte*)	Max (Sensor*)	Min (Karte*)	Max (Sensor*)
Nutzen direkt in €/ha (unverändert)	17,00	34,00	-58,50	1,30	-35,10	10,30
Nutzen indirekt I <sup>2</sup> <b>Sensitivität 2 (ZB)</b> in €/ha	31,75	73,17	31,75	73,17	12,07	29,07
Nutzen indirekt IV <sup>2</sup> <b>Sensitivität 2 (ZB)</b> in €/ha	170,39	382,08	170,39	382,08	147,3	319,28
Summe Nutzen I <b>Sensitivität 2 ZB</b> in €/ha	65,75	90,17	33,05	14,67	22,37	-5,83
Summe Nutzen IV <b>Sensitivität 2 ZB</b>	204,39	399,08	171,69	323,58	157,60	284,18
Summe Kosten in €/ha (unverändert)	5,33	4,49	5,33	4,49	5,33	4,49
<b>Nettonutzen I Sensitivität 2 ZB in €/ha</b>	<b>43,42</b>	<b>102,68</b>	<b>-32,08</b>	<b>69,98</b>	<b>-28,36</b>	<b>35,08</b>
<b>Nettonutzen IV Sensitivität 2 ZB</b>	<b>182,06</b>	<b>411,59</b>	<b>106,56</b>	<b>378,89</b>	<b>106,87</b>	<b>325,09</b>
<b>Verhältniskriterium I (Nutzen/Kosten)</b>	9,15	23,87	-5,02	16,59	-4,32	8,81
<b>Verhältniskriterium IV</b>	35,16	92,67	20,99	85,39	21,05	73,40

Tabelle 36. Berechnung Nettonutzen/Verhältniskriterium des Precision Farming – Sensitivität 3<sup>1</sup> bzgl. Veränderung Zahlungsbereitschaft (ZB)

	2005		2006		2007	
	Min (Karte*)	Max (Sensor*)	Min (Karte*)	Max (Sensor*)	Min (Karte*)	Max (Sensor*)
Nutzen direkt in €/ha (unverändert)	17,00	34,00	-58,50	1,30	-35,10	10,30
Nutzen indirekt I <sup>2</sup> <b>Sensitivität 3 (ZB)</b> in €/ha	39,70	91,48	39,70	91,48	15,88	36,58
Nutzen indirekt IV <sup>2</sup> <b>Sensitivität 3 (ZB)</b> in €/ha	178,34	400,39	178,34	400,39	151,11	326,59
Summe Nutzen I <b>Sensitivität 3 ZB</b> in €/ha	73,70	108,48	41,00	32,98	26,18	1,48
Summe Nutzen IV <b>Sensitivität 3 ZB</b>	212,34	417,39	179,64	341,89	161,41	291,49
Summe Kosten in €/ha (unverändert)	5,33	4,49	5,33	4,49	5,33	4,49
<b>Nettonutzen I Sensitivität 3 ZB in €/ha</b>	<b>51,37</b>	<b>120,99</b>	<b>-24,03</b>	<b>88,29</b>	<b>-24,55</b>	<b>42,39</b>
<b>Nettonutzen IV Sensitivität 3 ZB</b>	<b>190,01</b>	<b>429,90</b>	<b>114,51</b>	<b>397,20</b>	<b>110,68</b>	<b>332,40</b>
<b>Verhältniskriterium I (Nutzen/Kosten)</b>	10,64	27,95	-3,53	20,66	-3,61	10,44
<b>Verhältniskriterium IV</b>	36,65	96,75	22,48	89,46	21,77	75,03

\*Precision Farming-Strategie

<sup>1</sup> Sensitivität 1: schlechte Entwicklung, Annahme: Zahlungsbereitschaft -50 %

Sensitivität 2: normale Entwicklung, Annahme: Zahlungsbereitschaft +20 %

Sensitivität 3: gute Entwicklung, Annahme: Zahlungsbereitschaft +50 %

<sup>2</sup> Bewertungsstufen I-IV:

I sehr sicher (NQZ 13+15)

II sicher (NQZ 7+13+15)

III relativ sicher (NQZ 7+13+15+16)

IV relativ unsicher (alle bewerteten NQZ), genauere Beschreibung siehe Anhang Tabelle 23

Tabelle 37. Hochrechnung/Abschätzung des volkswirtschaftlichen Nettonutzens der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming, PF-Flächen

	2005 Schlag 432		2006 Schlag 411		2007 Schlag 432		
	Min (Karte*)	Max (Sensor*)	Min (Karte*)	Max (Sensor*)	Min (Karte*)	Max (Sensor*)	Mittelwert**
Nettonutzen I Precision Farming in €/ha	38,98	89,65	-36,52	56,95	-29,00	29,37	24,91
Nettonutzen II	43,76	116,37	-31,74	83,67	-29,00	29,37	35,41
Nettonutzen III	81,26	203,87	5,76	171,17	21,00	146,04	104,85
Nettonutzen IV	177,15	398,56	101,65	365,86	106,23	319,37	244,80
Nettonutzen Mittelwert I-IV	85,29	202,11	31,92	169,41	17,25	131,04	106,17
Precision Farming Potenzial-Ackerflächen für Ostdeutschland, nach CORINE <sup>1</sup>							
PF Potenzialfläche in ha für HEI >=5 %	4.306.982,80						
PF Potenzialfläche in ha für HEI >=10 %	2.334.416,32						
PF Potenzialfläche in ha für HEI >=15 %	815.209,11						
PF Potenzialfläche in ha für HEI >=17 %	429.139,86						
PF Potenzialfläche in ha für HEI >=20 %	100.262,05						
PF Potenzialfläche in ha für HEI >=25 %	2.752,60						
Anbauflächen für Getreide/ Winterweizen, nach Statistik <sup>2</sup>							
Anbaufläche Ost-Deutschland in ha, 2006							
Getreide	2.437.000						
Winterweizen	1.205.400						
Anbaufläche West-Deutschland in ha, 2006							
Getreide	4.265.100						
Winterweizen	1.852.900						
Anbaufläche Deutschland gesamt in ha, 2006							
Getreide	6.702.100						
Winterweizen	3.058.300						

Quelle: eigene Berechnung und

<sup>1</sup> berechnet über HEI und CORINE-Programm, CORINE (2004), Berechnung 2007

<sup>2</sup> STATISTISCHES JAHRBUCH FÜR DIE BRD (2007)

\*Precision-Farming-Strategie, \*\* Mittelwert über 2 PF-Strategien und 3 Jahre

Tabelle 38. Hochrechnung der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming, volkswirtschaftlicher Nettonutzen für Ostdeutschland nach HEI und CORINE<sup>1</sup>

Nettonutzen für Precision Farming Potenzial-Ackerflächen in Ostdeutschland, nach CORINE <sup>1</sup>							Mittelwert*
<b>HEI &gt; = 5 % Nettonutzen I in €</b>	<b><u>2005 (Karte)</u></b>	<b><u>2005 (Sensor)</u></b>	<b><u>2006 (Karte)</u></b>	<b><u>2006 (Sensor)</u></b>	<b><u>2007 (Karte)</u></b>	<b><u>2007 (Sensor)</u></b>	
	167.886.189,54	386.121.008,02	-157.291.011,86	245.282.670,46	-124.902.501,20	126.496.084,84	107.265.406,63
<b>NN II</b>	188.473.567,33	501.203.588,44	-136.703.634,07	360.365.250,88	-124.902.501,20	126.496.084,84	152.488.726,03
<b>NN III</b>	349.985.422,33	878.064.583,44	24.808.220,93	737.226.245,88	90.446.638,80	628.991.768,11	451.587.146,58
<b>NN IV</b>	762.982.003,02	1.716.591.064,77	437.804.801,62	1.575.752.727,21	457.530.782,84	1.375.521.096,84	1.054.363.746,05
<b><i>NN Mittelwert I-IV</i></b>	<b><i>367.342.563,01</i></b>	<b><i>870.484.293,71</i></b>	<b><i>137.478.890,98</i></b>	<b><i>729.645.956,15</i></b>	<b><i>74.295.453,30</i></b>	<b><i>564.376.258,66</i></b>	<b><i>457.270.569,30</i></b>
<b>HEI &gt; = 10 % Nettonutzen I in €</b>	90.995.548,15	209.280.423,09	-85.252.884,01	132.945.009,42	-67.698.073,28	68.561.807,32	58.138.638,45
<b>NN II</b>	102.154.058,16	271.656.027,16	-74.094.374,00	195.320.613,49	-67.698.073,28	68.561.807,32	82.650.009,81
<b>NN III</b>	189.694.670,16	475.917.455,16	13.446.238,00	399.582.041,49	49.022.742,72	340.918.159,37	244.763.551,15
<b>NN IV</b>	413.541.851,09	930.404.968,50	237.293.418,93	854.069.554,84	247.985.045,67	745.542.540,12	571.472.896,52
<b><i>NN Mittelwert I-IV</i></b>	<b><i>199.102.367,93</i></b>	<b><i>471.808.882,44</i></b>	<b><i>74.514.568,93</i></b>	<b><i>395.473.468,77</i></b>	<b><i>40.268.681,52</i></b>	<b><i>305.896.078,53</i></b>	<b><i>247.844.008,02</i></b>
<b>HEI &gt; = 15 % Nettonutzen I in €</b>	31.776.851,11	73.083.496,71	-29.771.436,70	46.426.158,81	-23.641.064,19	23.942.691,56	20.302.782,88
<b>NN II</b>	35.673.550,65	94.865.884,13	-25.874.737,15	68.208.546,23	-23.641.064,19	23.942.691,56	28.862.478,54
<b>NN III</b>	66.243.892,28	166.196.681,26	4.695.604,47	139.539.343,36	17.119.391,31	119.053.138,42	85.474.675,18
<b>NN IV</b>	144.414.293,84	324.909.742,88	82.866.006,03	298.252.404,98	86.599.663,76	260.353.333,46	199.565.907,49
<b><i>NN Mittelwert I-IV</i></b>	<b><i>69.529.184,99</i></b>	<b><i>164.761.913,22</i></b>	<b><i>26.021.474,79</i></b>	<b><i>138.104.575,33</i></b>	<b><i>14.062.357,15</i></b>	<b><i>106.822.963,75</i></b>	<b><i>86.550.411,54</i></b>

<b>HEI &gt;= 17 % Nettonutzen I in €</b>	<b>16.727.871,74</b>	<b>38.472.388,45</b>	<b>-15.672.187,69</b>	<b>24.439.515,03</b>	<b>-12.445.055,94</b>	<b>12.603.837,69</b>	<b>10.687.728,21</b>
<b>NN II</b>	18.779.160,27	49.939.005,51	-13.620.899,16	35.906.132,09	-12.445.055,94	12.603.837,69	15.193.696,74
<b>NN III</b>	34.871.905,02	87.488.743,26	2.471.845,59	73.455.869,84	9.011.937,06	62.671.585,15	44.995.314,32
<b>NN IV</b>	<b>76.022.126,20</b>	<b>171.037.982,60</b>	<b>43.622.066,77</b>	<b>157.005.109,18</b>	<b>45.587.527,33</b>	<b>137.054.397,09</b>	<b>105.054.868,19</b>
<i>NN Mittelwert I-IV</i>	<i>36.601.338,66</i>	<i>86.733.457,10</i>	<i>13.698.144,33</i>	<i>72.700.583,68</i>	<i>7.402.662,59</i>	<i>56.233.414,40</i>	<i>45.561.600,13</i>
<b>HEI &gt;= 20 % Nettonutzen I in €</b>	<b>3.908.214,71</b>	<b>8.988.492,78</b>	<b>-3.661.570,07</b>	<b>5.709.923,75</b>	<b>-2.907.599,45</b>	<b>2.944.696,41</b>	<b>2.497.026,36</b>
<b>NN II</b>	4.387.467,31	11.667.494,76	-3.182.317,47	8.388.925,72	-2.907.599,45	2.944.696,41	3.549.777,88
<b>NN III</b>	8.147.294,18	20.440.424,13	577.509,41	17.161.855,10	2.105.503,05	14.642.269,78	10.512.475,94
<b>NN IV</b>	17.761.422,16	39.960.442,65	10.191.637,38	36.681.873,61	10.650.837,57	32.020.690,91	24.544.484,05
<i>NN Mittelwert I-IV</i>	<i>8.551.350,24</i>	<i>20.263.962,93</i>	<i>3.200.364,64</i>	<i>16.985.393,89</i>	<i>1.729.520,36</i>	<i>13.138.088,38</i>	<i>10.644.780,07</i>
<b>HEI &gt;= 25 % Nettonutzen I in €</b>	<b>107.296,35</b>	<b>246.770,59</b>	<b>-100.524,95</b>	<b>156.760,57</b>	<b>-79.825,40</b>	<b>80.843,86</b>	<b>68.553,50</b>
<b>NN II</b>	120.453,78	320.320,06	-87.367,52	230.310,04	-79.825,40	80.843,86	97.455,80
<b>NN III</b>	223.676,28	561.172,56	15.854,98	471.162,54	57.804,60	401.989,70	288.610,11
<b>NN IV</b>	487.623,09	1.097.076,26	279.801,79	1.007.066,24	292.408,70	879.097,86	673.845,66
<i>NN Mittelwert I-IV</i>	<i>234.769,25</i>	<i>556.327,99</i>	<i>87.862,99</i>	<i>466.317,97</i>	<i>47.482,35</i>	<i>360.693,82</i>	<i>292.242,40</i>

Quelle: eigene Berechnung

<sup>1</sup> nach HEI und CORINE-Programm, CORINE (2004), Berechnung 2007,

\* Mittelwert über 2 PF-Strategien und 3 Jahre

Tabelle 39. Hochrechnung der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming, volkswirtschaftlicher Nettonutzen Gesamtdeutschland<sup>1</sup>

Gesamtwirtschaftlicher Nettonutzen für Precision Farming <sup>1</sup> in €							Mittelwert*
<b>Deutschland gesamt Getreidefläche<sup>1</sup> NN I</b>	<b><u>2005 (Karte)</u></b>	<b><u>2005 (Sensor)</u></b>	<b><u>2006 (Karte)</u></b>	<b><u>2006 (Sensor)</u></b>	<b><u>2007 (Karte)</u></b>	<b><u>2007 (Sensor)</u></b>	
	261.247.858,00	600.843.265,00	-244.760.692,00	381.684.595,00	-194.360.900,00	196.840.677,00	<b>166.915.800,50</b>
<b>NN II</b>	293.283.896,00	779.923.377,00	-212.724.654,00	560.764.707,00	-194.360.900,00	196.840.677,00	237.287.850,50
<b>NN III</b>	544.612.646,00	1.366.357.127,00	38.604.096,00	1.147.198.457,00	140.744.100,00	978.774.684,00	702.715.185,00
<b>NN IV</b>	1.187.277.015,00	2.671.188.976,00	681.268.465,00	2.452.030.306,00	711.964.083,00	2.140.449.677,00	<b>1.640.696.420,33</b>
<b><i>NN Mittelwert I-IV</i></b>	571.622.109,00	1.354.561.431,00	213.931.032,00	1.135.402.761,00	115.611.225,00	878.226.428,75	<b>711.559.164,46</b>
<b>Deutschland gesamt Winterweizenfläche<sup>1</sup> NN I</b>							
	119.212.534,00	274.176.595,00	-111.689.116,00	174.170.185,00	-88.690.700,00	89.822.271,00	<b>76.166.961,50</b>
<b>NN II</b>	133.831.208,00	355.894.371,00	-97.070.442,00	255.887.961,00	-88.690.700,00	89.822.271,00	108.279.111,50
<b>NN III</b>	248.517.458,00	623.495.621,00	17.615.808,00	523.489.211,00	64.224.300,00	446.634.132,00	320.662.755,00
<b>NN IV</b>	541.777.845,00	1.218.916.048,00	1.218.916.048,00	1.118.909.638,00	324.883.209,00	976.729.271,00	<b>748.682.034,33</b>
<b><i>NN Mittelwert I-IV</i></b>	260.842.407,00	618.113.013,00	97.620.936,00	518.106.603,00	52.755.675,00	400.751.986,25	<b>324.698.436,71</b>
<b>Ost-Deutschland Ge- treidefläche<sup>1</sup> NN I</b>							
	94.994.260,00	218.477.050,00	-88.999.240,00	138.787.150,00	-70.673.000,00	71.574.690,00	<b>60.693.485,00</b>
<b>NN II</b>	106.643.120,00	283.593.690,00	-77.350.380,00	203.903.790,00	-70.673.000,00	71.574.690,00	86.281.985,00
<b>NN III</b>	198.030.620,00	496.831.190,00	14.037.120,00	417.141.290,00	51.177.000,00	355.899.480,00	255.519.450,00
<b>NN IV</b>	431.714.550,00	971.290.720,00	247.721.050,00	891.600.820,00	258.882.510,00	778.304.690,00	<b>596.585.723,33</b>
<b><i>NN Mittelwert I-IV</i></b>	207.851.730,00	492.542.070,00	77.789.040,00	412.852.170,00	42.038.250,00	319.338.387,50	<b>258.735.274,58</b>
<b>Ost-Deutschland Win- terweizenfläche<sup>1</sup> NN I</b>							
	46.986.492,00	108.064.110,00	-44.021.208,00	68.647.530,00	-34.956.600,00	35.402.598,00	<b>30.020.487,00</b>
<b>NN II</b>	52.748.304,00	140.272.398,00	-38.259.396,00	100.855.818,00	-34.956.600,00	35.402.598,00	<b>42.677.187,00</b>
<b>NN III</b>	97.950.804,00	245.744.898,00	6.943.104,00	206.328.318,00	25.313.400,00	176.036.616,00	<b>126.386.190,00</b>



<b>NN IV</b>	213.536.610,00	480.424.224,00	122.528.910,00	441.007.644,00	128.049.642,00	384.968.598,00	<b>295.085.938,00</b>
<i>NN Mittelwert I-IV</i>	102.808.566,00	243.623.394,00	38.476.368,00	204.206.814,00	20.793.150,00	157.952.602,50	<b>127.976.815,75</b>
<b>West-Deutschland Getreidefläche<sup>1</sup> NN I</b>	166.253.598,00	382.366.215,00	-155.761.452,00	242.897.445,00	-123.687.900,00	125.265.987,00	<b>106.222.315,50</b>
<b>NN II</b>	186.640.776,00	496.329.687,00	-135.374.274,00	356.860.917,00	-123.687.900,00	125.265.987,00	151.005.865,50
<b>NN III</b>	346.582.026,00	869.525.937,00	24.566.976,00	730.057.167,00	89.567.100,00	622.875.204,00	447.195.735,00
<b>NN IV</b>	755.562.465,00	1.699.898.256,00	433.547.415,00	1.560.429.486,00	453.081.573,00	1.362.144.987,00	<b>1.044.110.697,00</b>
<i>NN Mittelwert I-IV</i>	363.770.379,00	862.019.361,00	136.141.992,00	722.550.591,00	73.572.975,00	558.888.041,25	<b>452.823.889,88</b>
<b>West-Deutschland Winterweizenfläche<sup>1</sup> NN I</b>	72.226.042,00	166.112.485,00	-67.667.908,00	105.522.655,00	-53.734.100,00	54.419.673,00	46.146.474,50
<b>NN II</b>	81.082.904,00	215.621.973,00	-58.811.046,00	155.032.143,00	-53.734.100,00	54.419.673,00	65.601.924,50
<b>NN III</b>	150.566.654,00	377.750.723,00	10.672.704,00	317.160.893,00	38.910.900,00	270.597.516,00	194.276.565,00
<b>NN IV</b>	328.241.235,00	738.491.824,00	188.347.285,00	677.901.994,00	196.833.567,00	591.760.673,00	453.596.096,33
<i>NN Mittelwert I-IV</i>	158.033.841,00	374.489.619,00	59.144.568,00	313.899.789,00	31.962.525,00	242.799.383,75	196.721.620,96

Quelle: eigene Berechnung

<sup>1</sup>2006 nach STATISTISCHES JAHRBUCH FÜR DIE BRD (2007),

\* Mittelwert über 2 PF-Strategien und 3 Jahre

## **Danksagung**

Besonderer Dank gilt an erster Stelle meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Klaus Müller, ohne dessen Unterstützung, guten Zuspruch, aber auch sanften Druck ich diese Arbeit niemals fertiggestellt hätte. Ich danke ihm auch für den kontinuierlichen Austausch und ergiebige Diskussion sowie Lob und konstruktive Kritik.

Diese interdisziplinär angelegte Arbeit entstand im Rahmen des BMBF-finanzierten Verbundprojektes: pre agro II – „Informationsgeleitete Pflanzenproduktion mit Precision Farming als zentrale inhaltliche und technische Voraussetzung für eine nachhaltige Entwicklung“. So möchte ich es auch nicht versäumen, meinen pre agro II-Kollegen herzlich für die wunderbare und sehr kollegiale Mitarbeit zu danken: Martin Schneider, Susanne Jörns und Maike Reichardt.

Zum Entwurf des in dieser Arbeit neu entwickelten Heterogenitätsindikators HEI gilt besonderer Dank auch Herrn Prof. Dr. Michael Sommer vom Institut für Bodenlandschaftsforschung, ZALF (Müncheberg) und seinen Mitarbeiterinnen sowie Herrn Dr. Wilfried Mirschel vom Institut für Landschaftssystemanalyse, ZALF (Müncheberg).

Die letzten zwei intensiven „Diss-Jahre“ konnte ich, dank der Unterstützung meines Doktorvaters am ZALF durchführen. Herzlich danken möchte ich den Mitarbeitern am ZALF, Kerstin Franke, Renate Wille, Claudia Sattler und Johannes Schuler, die mich mit ihrem fachlichen Können und Wissen tatkräftig unterstützt haben.

Besonderer Dank gilt Frau Angelika Neumeyer für das Korrekturlesen meiner Arbeit, insbesondere bzgl. der Formatierung.

Zuletzt möchte ich nicht vergessen, meiner Familie zu danken. Meinem Mann André für die immer absolut vorbehaltlose und tatkräftige Unterstützung (bei der Kinderbetreuung), meiner Schwiegermutter Ingrid Hilgendorf, die in der allerletzten „Diss-Phase“ für meinen Mann eingesprungen ist und schließlich meinen Eltern für den Zuspruch und das Mutmachen.

Ich hätte niemals gedacht, dass ich das tatsächlich schaffe!

Herzlichen Dank Ihnen/Euch allen!

**Eidesstattliche Erklärung**

Hiermit erkläre ich, die vorliegende Dissertation selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet zu haben.

Berlin, d. 2. Juni 2014

gez. Isabella Karpinski